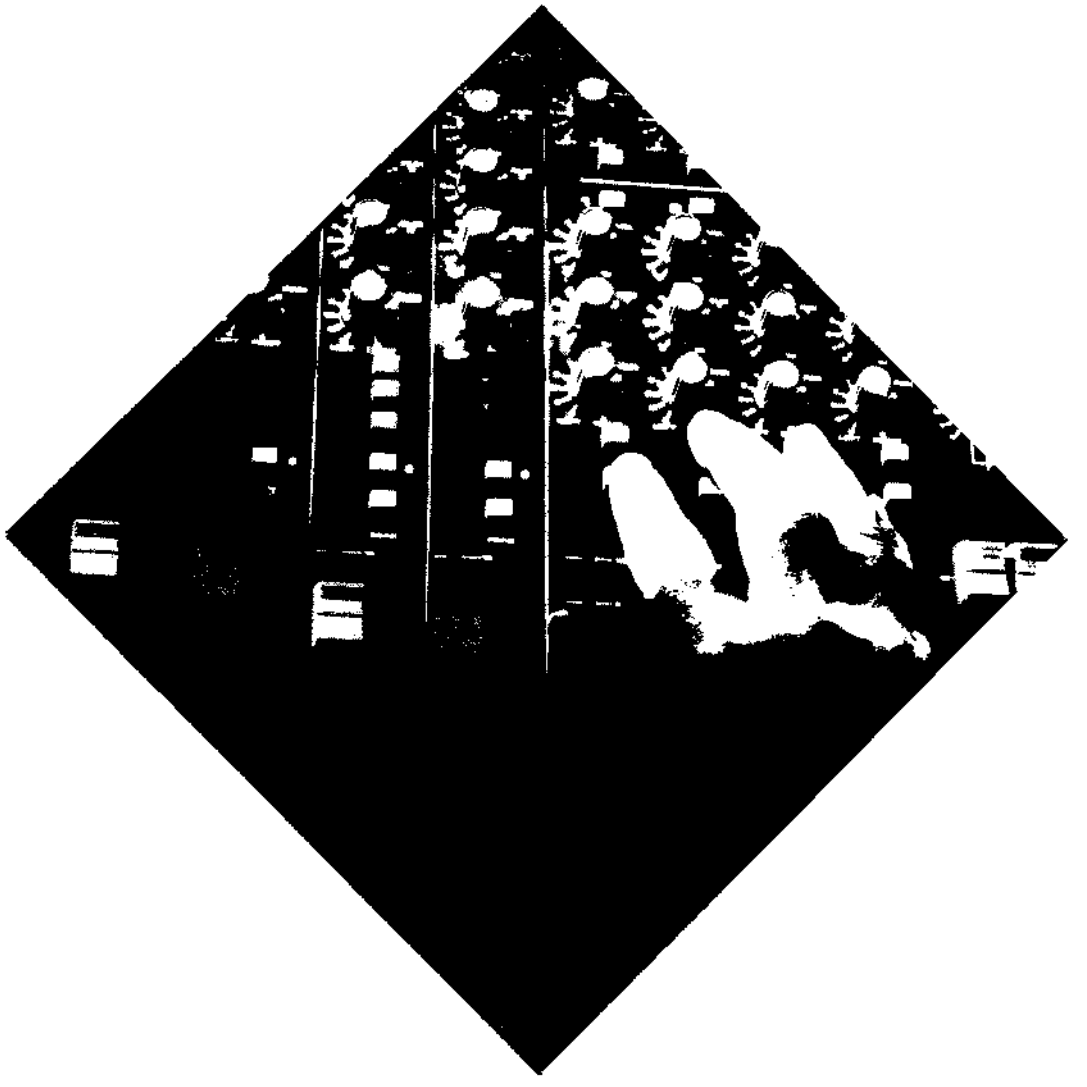
IORTV

Introducción al Sonido y la Grabación



Indice

		Págs.
Capítulo 1. ¿Qué es el sonido?		**17**
1.1	Fuente vibratoria	17
1.2	Características de una onda de sonido	18
1.3	Cómo viaja el sonido en el aire	19
1.4	Sonidos simples y sonidos complejos	20
1.5	Espectro de frecuencias de los sonidos periódicos	21
1.6	Espectro de frecuencias de sonidos no periódicos	22
1.7	Fase	23
1.8	El sonido en forma eléctrica	26
1.9	Visualización de las características de una onda sonora	28
1.10	El decibelio	29
1.11	Potencia sonora y presión sonora	30
1.12	Campo libre y campo reverberante	34
1.13	Ondas estacionarias	36
Lecturas recomendadas		39
Capítulo 2. Percepción auditiva		**41**
2.1	El mecanismo de la audición	41
2.2	Percepción de la frecuencia	42
2.3	Percepción de la sonoridad	44
2.4	Aplicaciones prácticas de las curvas isofónicas	47
2.5	Percepción direccional	47
2.6	El efecto Haas	50
2.7	Reproducción de un sonido estereofónico	51
Lecturas recomendadas		52
Escuchas recomendadas		52
Capítulo 3. La cadena de señal de audio		**53**
3.1	Un poco de historia	53
3.1.1	Los primeros grabadores	53
3.1.2	Grabación eléctrica	54
3.1.3	Desarrollos posteriores	55
3.2	La cadena de grabación actual	57
3.2.1	Estéreo directo	57
3.2.2	Grabación multipista	58
3.2.3	Sonido en cine	60
3.2.4	Sonido para vídeo	62

Págs.

3.3 Distribución en radio y televisión 63
3.4 Introducción a los niveles de señal 64
Lecturas recomendadas 65

Capítulo 4. Micrófonos **67**

4.1 Micrófono dinámico o de bobina móvil 67
4.2 Micrófono de cinta 68
4.3 Micrófono de condensador 69
4.3.1 Micrófono de condensador básico 69
4.3.2 Micrófono electret 69
4.3.3 Micrófono de condensador de RF 71
4.4 Diagramas polares y respuestas direccionales 71
4.4.1 Respuesta omnidireccional 71
4.4.2 Respuesta bidireccional o de forma de ocho 72
4.4.3 Respuesta cardioide o unidireccional 75
4.4.4 Respuesta hipercardioide 78
4.5 Micrófonos especiales 79
4.5.1 Micrófono de cañón 79
4.5.2 Micrófono con reflector paraboloide 80
4.5.3 Micrófono de zona de presión 80
4.6 Micrófonos con varios tipos de respuesta 81
4.7 Micrófonos estéreo 82
4.8 Uso práctico de los micrófonos 85
4.8.1 Sensibilidad de un micrófono 85
4.8.2 Ruido de un micrófono 87
4.9 Sistemas de alimentación de micrófonos 88
4.9.1 Alimentación «phantom» o fantasma 88
4.9.2 Alimentación A-B 90
4.10 Micrófonos inalámbricos 91
4.10.1 Principios de funcionamiento 91
4.10.2 Características 92
4.10.3 Concesión de frecuencias 92
4.10.4 Antenas 93
4.10.5 Conexionado y colocación de la antena 96
4.10.6 Sistema «diversity» 98
Lecturas recomendadas 98

Capítulo 5. Altavoces **99**

5.1 El altavoz dinámico o de bobina móvil 99
5.2 Otros tipos de altavoces 101
5.3 Colocación y carga de los altavoces 103
5.3.1 Sistemas de «pantalla infinita» 103
5.3.2 Sistemas «Bass-reflex» 103
5.3.3 Bocinas 104
5.4 Sistemas completos de altavoces 106
5.4.1 Sistemas de dos vías 106
5.4.2 Sistemas de tres vías 108

		Págs.
5.5	Cajas activas	108
5.6	«Subwoofers»	109
5.7	Características de un altavoz	110
5.7.1	Impedancia	110
5.7.2	Sensibilidad	112
5.7.3	Distorsión	112
5.7.4	Respuesta en frecuencia	113
5.7.5	Potencia nominal	113
5.8	Instalación de los altavoces	114
5.8.1	Fase	114
5.8.2	Ubicación de los altavoces	115
Lecturas recomendadas		116
Capítulo 6. Mezcladores 1		**117**
6.1	Mezclador sencillo de seis canales	117
6.1.1	Introducción	117
6.1.2	Canales de entrada	119
6.1.3	Sección de salida	121
6.1.4	Otras características	122
6.2	Mezclador multipista	123
6.2.1	Introducción	123
6.2.2	Configuración «en línea» y «de cruce»	124
6.2.3	Otros aspectos del diseño «en línea»	126
6.3	Agrupación de canales	129
6.4	Controles típicos de un mezclador	129
6.4.1	Sección de entrada	130
6.4.2	Sección de encaminamiento	132
6.4.3	Sección de dinámica	132
6.4.4	Sección de ecualización	134
6.4.5	Controles de mezcla y de canal	137
6.4.6	Envíos auxiliares	138
6.4.7	Sección de controles generales	139
6.4.8	Retornos de efectos	140
6.4.9	Panel de conexiones	140
6.5	La ecualización con detalle	141
6.5.1	Bandas principales de ecualización	142
6.5.2	Filtros	145
6.6	Módulos de entrada de línea estéreo	145
6.7	Mezclador para monitores	145
Lecturas recomendadas		145
Capítulo 7. Mezcladores 2		**147**
7.1	Técnicas básicas de operación	147
7.1.1	Ajuste de nivel	147
7.1.2	Utilización de envíos auxiliares	148
7.1.3	Utilización de grupos	148
7.2	Automatización	149

Págs.

7.2.1 Introducción 149
7.2.2 Mezcla automatizada 149
7.2.3 Encaminamiento automatizado 150
7.2.4 Sistemas de automatización total 150
7.2.5 Control integrado de cinta 151
7.2.6 Autolocalización y sincronización 151
7.3 El mezclador digital 152
7.4 Especificaciones técnicas 152
7.4.1 Ruido de entrada 152
7.4.2 Ruido de salida 153
7.4.3 Impedancia 153
7.4.4 Respuesta en frecuencia 154
7.4.5 Distorsión 154
7.4.6 Diafonía 155
7.5 Sistemas de medida 155
7.5.1 Medidor mecánico 155
7.5.2 Problemas de los medidores mecánicos 157
7.5.3 Medidor electrónico de barra 157
7.5.4 Equivalencia entre diferentes métodos de medida 159
7.5.5 Punto de inserción del medidor 159
Lecturas recomendadas 160

Capítulo 8. Grabación analógica **161**

8.1 La cinta magnética 161
8.1.1 Estructura 161
8.1.2 Historia reciente 162
8.1.3 La cinta de casete 162
8.1.4 La cinta de bobina abierta 163
8.2 El proceso de grabación magnética 163
8.2.1 Introducción 163
8.2.2 Ecualización 165
8.2.3 Requisitos de polarización 168
8.2.4 Efecto copia 168
8.3 El magnetófono 169
8.3.1 Magnetófono de estudio 169
8.3.2 El grabador semiprofesional 170
8.3.3 El grabador portátil 171
8.3.4 El magnetófono multipista 172
8.4 Formatos de pista 174
8.4.1 Formatos mono, dos pistas y estéreo 174
8.4.2 Formatos multipista 175
8.5 Niveles de grabación magnética 175
8.6 ¿Para qué sirven las cintas de prueba? 177
8.7 Ajuste del magnetófono 178
8.7.1 Revisión y desmagnetización de las cabezas 178
8.7.2 Ajustes en reproducción 178
8.7.3 Ajustes en grabación 178

Págs.

8.8 Sistema de arrastre de un magnetófono 181
8.9 El casete compacto 183
8.9.1 Sus orígenes 183
8.9.2 Cartucho y sistema de arrastre 183
8.9.3 Selección del tipo de cinta 184
8.9.4 Otros ajustes 185
8.9.5 Grabadores multipista en casete 185
8.9.6 Duplicación de casetes 185
8.10 El cartucho de cinta 186
8.10.1 Sus orígenes 186
8.10.2 Grabación y reproducción 188
Lecturas recomendadas 189

Capítulo 9. Reducción de ruido **191**

9.1 ¿Por qué es necesario un reductor de ruido? 191
9.2 Métodos de reducción de ruido 192
9.2.1 Preénfasis variable 192
9.2.2 Dolby B 193
9.2.3 Dolby C 194
9.2.4 Dolby A 195
9.2.5 Dolby SR 196
9.2.6 dbx 196
9.2.7 telcom c4 197
9.3 Alineación de los sistemas de reducción de ruido 197
9.4 Consideraciones en cuanto a operación 198
9.5 Reducción de ruido de acabado único 199
9.5.1 Sistemas generales 199
9.5.2 Puertas de ruido 199
9.5.3 Extracción digital de ruido 200
Lecturas recomendadas 200

Capítulo 10. Grabación digital **201**

10.1 Comparación entre grabación analógica y digital 201
10.2 Cadena completa de la señal digital de audio 201
10.3 Principios básicos 202
10.3.1 Muestreo y análisis en el dominio del tiempo 202
10.3.2 Cuantificación 205
10.3.3 Principios de la codificación de canal 211
10.3.4 Corrección de errores 213
10.3.5 Conversión D/A 216
10.4 Principios básicos de la grabación digital en cinta 216
10.5 Formatos de grabación en cinta 218
10.5.1 Formato Sony para edición de matrices de CD 218
10.5.2 Formatos DASH, PD y X-80 219
10.5.3 R-DAT 220
10.5.4 Formatos de consumo con cabeza estacionaria 221
10.5.5 Formato VP-900 de JVC 222

Págs.

10.5.6 Formato Nagra-D 222
10.5.7 Otros formatos multipista 222
10.6 Edición de grabaciones digitales 223
10.7 Mantenimiento y alineación 225
10.8 Protección anticopia 227
10.9 Grabación en disco duro 227
10.9.1 Construcción del disco 227
10.9.2 Grabación de audio en discos 228
10.9.3 Estaciones de trabajo basadas en disco duro 231
10.10 El disco óptico en la grabación digital 232
10.10.1 Tipos de discos ópticos 232
10.10.2 Aplicaciones de los discos ópticos 234
10.11 El Disco Compacto 234
10.11.1 Principios básicos 235
10.11.2 Subcódigo 235
10.11.3 Fabricación de un CD 235
10.11.4 Otros formatos CD 236
Lecturas recomendadas 236

Capítulo 11. Tocadiscos **237**

11.1 Principios 237
11.1.1 Corte y prensado de discos 237
11.1.2 Mecánica del brazo y la cápsula 239
11.2 Ecualización RIAA 243
11.3 Tipos de cápsulas 244
11.4 Cables de conexión en un tocadiscos 245
11.5 Diseño del brazo 246
11.6 Diseño del giradiscos 248
11.6.1 Mecanismos de arrastre 248
11.6.2 Zumbido inducido 250
11.6.3 Montaje del giradiscos 250
11.6.4 Tocadiscos profesionales 251
11.7 Lectores láser 252
Lecturas recomendadas 253

Capítulo 12. Amplificadores de potencia **255**

12.1 Amplificadores de potencia domésticos 255
12.2 Prestaciones de un amplificador profesional 257
12.3 Especificaciones técnicas 257
12.3.1 Sensibilidad 258
12.3.2 Potencia de salida 259
12.3.3 Respuesta en frecuencia 260
12.3.4 Distorsión 260
12.3.5 Diafonía 261
12.3.6 Relación señal/ruido 262
12.3.7 Impedancia 262

Págs.

12.3.8 Factor de amortiguamiento 262
12.3.9 Respuesta de fase 263
12.4 Acoplamiento 263

Capítulo 13. Líneas e interconexiones 265

13.1 Transformadores 265
13.1.1 Transformadores e impedancias 265
13.1.2 Limitaciones de los transformadores 267
13.2 Líneas no equilibradas 267
13.3 Efectos del cable con líneas no equilibradas 269
13.3.1 Resistencia del cable 269
13.3.2 Inductancia del transformador y del cable 269
13.3.3 Capacidad del cable 270
13.4 Líneas equilibradas o balanceadas 271
13.5 Utilización de las líneas equilibradas 272
13.6 Cable de cuadretes 274
13.7 Equilibrado electrónico 275
13.8 Líneas de 100 voltios 275
13.8.1 Principios 275
13.8.2 Cómo trabajar con líneas de 100 voltios 277
13.9 600 Ohmios 278
13.9.1 Principios 278
13.9.2 Problemas con los equipos de 600 ohmios 279
13.10 Cajas DI 280
13.10.1 Generalidades 280
13.10.2 Cajas DI pasivas 280
13.10.3 Cajas DI activas 281
13.11 Cajas separadoras 282
13.12 Panel de «jacks» 283
13.12.1 Generalidades 283
13.12.2 Puentes de conexión 284
13.12.3 Normalización 284
13.12.4 Otras aplicaciones del panel de conexiones 285
13.13 Amplificadores distribuidores 286

Capítulo 14. Equipamiento externo 287

14.1 El ecualizador gráfico 287
14.2 El compresor/limitador 289
14.3 Dispositivos de eco y reverberación 291
14.3.1 La cámara de eco 291
14.3.2 Placa de eco 292
14.3.3 Reverberador de muelles 292
14.3.4 Reverberador digital 293
14.4 Procesadores multiefectos 295
14.5 Desplazador de frecuencias 295
14.6 Otros dispositivos 295
14.7 Conexión de dispositivos externos 296

Págs.

Capítulo 15. MIDI **297**

15.1 ¿Qué es el MIDI? 297
15.2 Principios de un sistema simple 299
15.2.1 Interconexión básica 299
15.2.2 Canales MIDI 301
15.2.3 Formatos de mensaje 301
15.2.4 Comparación entre mensajes de canal y mensajes de sistema 303
15.2.5 Estado operativo 304
15.2.6 Modos de canal 304
15.2.7 Sistema Exclusivo 306
15.2.8 Sensores activos 306
15.2.9 Prioridades 307
15.3 Sincronización 307
15.3.1 Sistema en tiempo real 308
15.3.2 Punteros de posición en la canción (SPP) 308
15.3.3 Sincronización en tiempo real y código de tiempo MIDI 309
15.4 Configuraciones del sistema 311
15.4.1 Teclado principal y expansores 311
15.4.2 El papel del secuenciador 312
15.4.3 Los retardos en los sistemas MIDI 312
15.4.4 Matrices de encaminamiento 313
15.4.5 Ejemplos prácticos de sistemas 313
Lecturas recomendadas 316

Capítulo 16. Código de tiempo y sincronización **317**

16.1 Código de tiempo SMPTE/EBU 317
16.2 Código de tiempo en grabación 320
16.3 Sincronizadores 322
16.3.1 Generalidades 322
16.3.2 Sincronizador de seguimiento 323
16.3.3 Sincronizador completo 324
Lecturas recomendadas 326

Apéndice 1. Especificaciones técnicas de los equipos **327**

A1.1 Respuesta en frecuencia. Definición 327
A1.2 Respuesta en frecuencia. Ejemplos prácticos 329
A1.3 Distorsión armónica. Definición 331
A1.4 Distorsión armónica. Ejemplos prácticos 332
A1.5 Margen dinámico y relación señal/ruido 333
A1.6 Lloro y fluctuación («wow and flutter») 335
A1.7 Distorsión de intermodulación (IM) 336
A1.8 Diafonía 337

Lecturas generales recomendadas **339**

Fichas Temáticas

		Págs.
1.1	Ley de Ohm	29
1.2	El decibelio	31
1.3	Ley cuadrática inversa	32
1.4	Medida del SPL	33
1.5	Absorción, reflexión y tiempo de reverberación	35
1.6	Ecos y reflexiones	38
2.1	Ancho de banda crítico	44
2.2	Curvas isofónicas	45
2.3	Enmascaramiento	46
2.4	Localización de una fuente lateral	48
3.1	Transductores electromagnéticos	55
4.1	Principios de los micrófonos dinámicos	68
4.2	Principios del micrófono de cinta	69
4.3	Principios del micrófono de condensador	70
4.4	Efecto proximidad	75
4.5	Toma de sonido M & S	83
4.6	Sensibilidad de un micrófono	86
4.7	Representación del ruido de un micrófono	86
4.8	Alimentación «Phantom»	89
4.9	Modulación de frecuencia	92
5.1	Principio del altavoz electrostático	101
5.2	Sistema de línea de transmisión	104
5.3	Principios de los altavoces de bocina	105
5.4	Red básica de filtro de cruce	107
5.5	Sensibilidad de un altavoz	112
6.1	Características del atenuador	119
6.2	Control panorámico	120
6.3	Escucha «pre-fader» (PFL)	122
6.4	Grupos de audio	128
6.5	Grupos de control	130
6.6	Q variable	135
7.1	Rechazo al modo común	153
7.2	Recorte por saturación	154
7.3	Medida y distorsión en la cinta	156

		Págs.
8.1	La cabeza de grabación magnética	164
8.2	Respuesta de la cabeza de reproducción	167
8.3	Reproducción síncrona	173
8.4	Formatos NAB y DIN	175
8.5	Niveles magnéticos de referencia	176
8.6	Ajuste de acimut	179
8.7	Ajuste de bias	180
9.1	Preénfasis	192
10.1	En el dominio de la frecuencia de muestreo	204
10.2	Representación de valores negativos	209
10.3	Sobremuestreo	210
10.4	Recuperación de los datos grabados	212
10.5	Tratamiento de los errores	215
10.6	Cabeza rotatoria y cabeza estacionaria	217
11.1	Perfil de la aguja	239
11.2	Peso de apoyo	242
11.3	Diafonía	244
11.4	Lloro y fluctuación	249
12.1	Clases de amplificadores	256
12.2	Ancho de banda de potencia	259
12.3	Velocidad de respuesta	261
13.1	El transformador	266
13.2	Bucles de tierra	268
13.3	Conectores XLR-3	273
14.1	Compresión y limitación	290
14.2	Simulación de reflexiones	292
15.1	Interfaz en serie	297
15.2	Transmisión asíncrona de datos	298
15.3	Construcción del interfaz MIDI	299
15.4	Cables y conectores	300
16.1	Código de tiempo «Drop-Frame»	318
16.2	Modos de enclavamiento	323
16.3	Terminología de uso en un sincronizador	325
A1.1	Respuesta en frecuencia subjetiva	330
A1.2	Distorsión armónica subjetiva	333
A1.3	Curvas de ponderación del ruido	334

Prólogo

Con esta obra el Instituto Oficial de Radio y Televisón desea resaltar, una vez más, la importancia que otorga al sonido en el contexto de la información audiovisual.

El autor, ingeniero de reconocido prestigio por sus reiterados trabajos en el campo de la captación y del tratamiento del sonido, acierta en esta obra integral al tratar de modo coherente y didáctico los grandes tópicos de la operación y de la descripción de los equipos utilizados en la producción y post-producción sonora.

Como comprobará el propio lector se acometen con magistralidad los grandes temas de vanguardia: la estereofonía, los micrófonos, la mezcla, la reducción del ruido, la grabación digital y la sincronización sonido/vídeo.

La obra va dedicada a todos los profesionales del Medio Audiovisual, alumnos de Escuelas de Ingeniería, Operaciones técnico-artísticas y al amplio espectro de profesionales del sector de habla española.

Tomás Bethencourt Machado

Prefacio

Uno de los mayores peligros que existe a la hora de escribir un libro a un nivel de introducción es el de sacrificar el rigor técnico en favor de la simplicidad. Al escribir ***Introducción al Sonido y la Grabación*** hemos procurado no caer en esta trampa, y hemos hecho una introducción comprensible al campo del audio, pensando fundamentalmente en el principiante, de manera que el texto sea a la vez fácil de entender y técnicamente preciso. Este es el tipo de libro que nosotros habríamos agradecido cuando comenzamos a profundizar en estas materias, y como tal, representa un texto de fácil lectura a la vez que una fuente de información. Muchos libros no van más allá de un vago repaso cuando precisamente lo que el lector busca es aclarar determinados aspectos de una materia. Otros, por contra, presuponen que el lector tiene ya demasiados conocimientos. Los libros creados a base de colaboraciones de varios autores presentan a menudo una falta de continuidad en el estilo, en las materias tratadas y en el nivel técnico de las mismas. Además, los libros de audio tienen la tendencia a ser, por un lado, demasiado técnicos para el principiante y por otro a estar orientados hacia ideas muy subjetivas sobre determinados productos u operaciones. Existe también un buen número de libros americanos sobre sonido que, siendo buenos, tienden a ignorar las tendencias y las prácticas europeas. Confiamos en haber logrado un equilibrio entre estos extremos y haber podido evitar cualquier intento de dictar métodos o prácticas de operación.

Introducción al Sonido y la Grabación está claramente orientado hacia la comprensión del «cómo trabaja» en lugar del «cómo trabajar con ello», si bien en ningun momento se discute la tecnología de forma abstracta, sino en referencia a su realidad de operación práctica. Aunque hemos incluido una introducción a la acústica y a la naturaleza de la percepción del sonido, no es éste un libro de física acústica (ni de acústica musical) de entre los muchos que hay en el mercado. Tiene que ver más bien con los principios de la grabación y reproducción de audio, y se dirige claramente hacia lo profesional en lugar de hacia el mercado de consumo. La materia tratada es muy extensa, e incluye capítulos sobre el audio digital, sincronización con código de tiempo y MIDI, entre otros temas más convencionales. Hay también una explicación fácilmente comprensible de algunos de los conceptos que a menudo son malinterpretados, como el de decibelio, las lineas balanceadas, niveles de referencia o sistemas de medida. Entendemos que al audio analógico le queda todavía algún tiempo de vida y por ésto gran parte del material de este libro es «analógico» en lugar de «digital». Puesto que ya existe un gran número de libros sobre audio digital, como se señala en el texto, se ha considerado innecesario ahondar aquí en su estudio.

Teniendo en cuenta que este libro es una introducción, será de gran valor para estudiantes de grabación de sonido o tecnología musical y para cualquier persona que comienza su andadura en

la ingeniería de sonido o en la radiodifusión. Por esta razón, el nivel técnico se ha mantenido deliberadamente bajo, y aquellos que ven en ésto una frustración es probable que no necesiten este texto. No obstante, cualquier técnico o ingeniero de sonido valora a menudo «volver a lo básico». Se citan al final varias propuestas de lectura para aquellos lectores que quieran profundizar más en las materias que aquí se presentan; algunas de estas referencias son bastante más «técnicas» que este libro. El estudiante sabrá valorar estas sugerencias a la hora de planificar su estudio.

Francis Rumsey
Tim McCormick

¿Qué es el sonido?

1.1 Fuente vibratoria

El sonido se produce cuando un objeto (la fuente) vibra y origina un movimiento en el aire que lo rodea. Consideremos la esfera de la figura 1.1. Se trata de una esfera pulsante (parecida a una pelota de «squash»), que vibra de tal forma que su tamaño oscila y pasa de ser ligeramente más grande de lo normal a ligeramente más pequeño de lo normal. Con esta pulsación, en el aire que le rodea se originarán alternativamente compresiones y descompresiones,

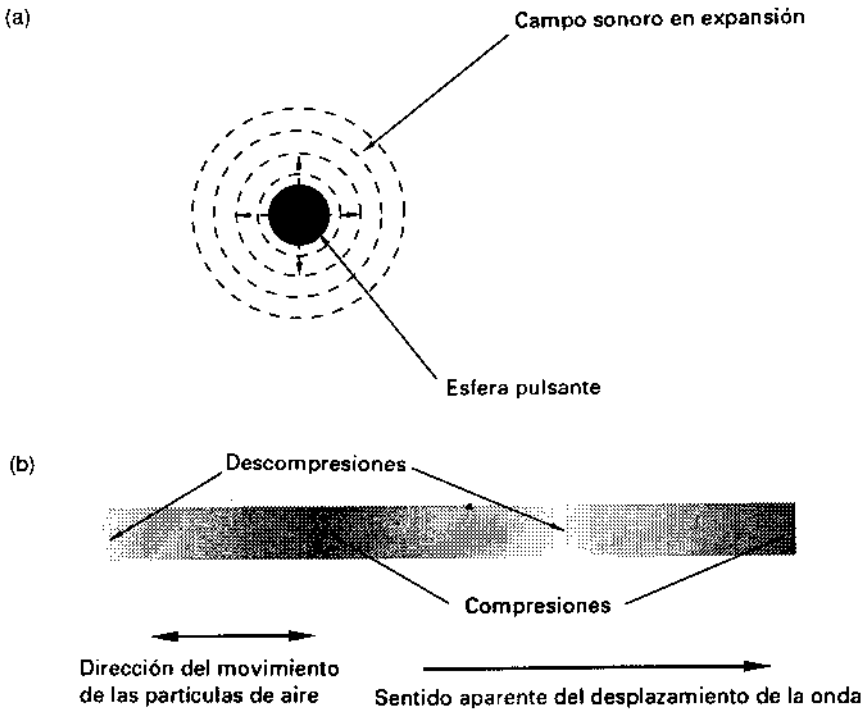


Figura 1.1 (a) Podemos imaginar a una fuente sonora elemental como una esfera pulsante que radia ondas esféricas. b) La onda longitudinal así creada es una sucesión de compresiones y descompresiones del aire.

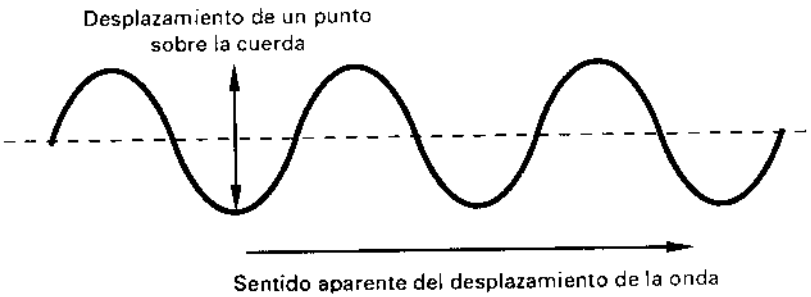


Figura 1.2 El movimiento de cualquier punto sobre una onda transversal forma ángulos rectos con la dirección aparente del desplazamiento de la misma.

que irán alejándose de la esfera como si se tratara de una versión tridimensional de las ondulaciones que produce una piedra al caer sobre un estanque. Éstas se conocen como «ondas longitudinales», puesto que las partículas del aire se mueven en la misma dimensión que la dirección en que viaja la onda. Como alternativa al movimiento longitudinal está el movimiento «transversal» de la onda (ver figura 1.2). Éste es el que tiene una cuerda que vibra cuando está sujeta por ambos extremos: el movimiento de la cuerda forma ángulos rectos con la dirección del movimiento aparente de la onda.

1.2 Características de una onda de sonido

La velocidad con la que oscila la fuente es la *frecuencia* de la onda de sonido que dicha oscilación produce, y se mide en *hercios* (Hz), o ciclos por segundo (cps). El valor 1000 hercios se denomina 1 kilohercio (1 kHz). El grado de compresión y descompresión del aire, resultado del movimiento de la esfera, es la *amplitud* de la onda de sonido, y tiene que ver con el nivel sonoro cuando es percibido finalmente por el oído (ver Capítulo 2). La distancia entre dos picos adyacentes de compresión o descompresión, conforme la onda viaja por el aire, se conoce con el nombre de *longitud de onda*, y se representa normalmente con la letra griega lambda (λ). La longitud de onda depende de lo rápido que viaje el sonido, puesto que, dado un tiempo fijo entre picos de compresión (o sea, una frecuencia fija), una onda que se desplaza rápidamente producirá una distancia entre picos mayor que la de una onda de desplazamiento lento.

Como puede verse en la figura 1.3, las características de una onda de sonido pueden representarse gráficamente mediante un eje vertical para la amplitud y un eje horizontal que representa el tiempo. Vemos que tanto los valores positivos como los negativos se dibujan en el eje vertical: esto indica compresiones (+) y descompresiones (-) del aire. Este gráfico representa, por tanto, la «forma de onda» del sonido. Supondremos por el momento que la fuente vibra de forma elemental y regular, lo que se denomina «movimiento armónico simple». El resultado de este movimiento es una onda simple conocida como «onda senoidal». Los sistemas vibrantes más sencillos –como es el caso de una masa suspendida de una cuerda o el de un péndulo balanceándose sobre un punto de apoyo– oscilan de esta manera (ver también la sección 1.7 sobre la fase). La frecuencia (f) es la inversa del tiempo entre transiciones de la onda ($f = 1/t$). Así, cuanto más corto es el espacio de tiempo entre oscilaciones de la fuente, mayor es la frecuencia. El oído humano es capaz de percibir sonidos con frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20 kHz, aproximadamente (ver sección 2.2); esto es lo que se conoce como «margen de frecuencias» o «espectro de audio».

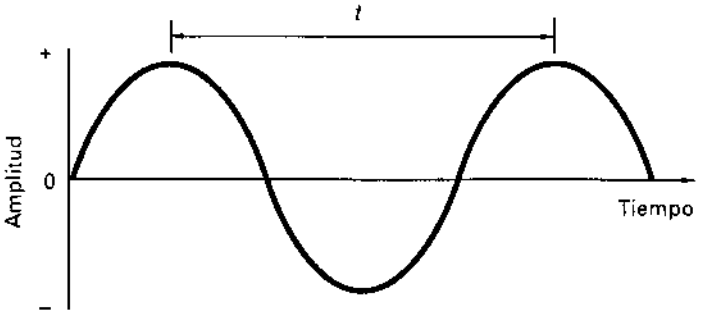


Figura 1.3 Representación gráfica de la forma de onda de un sonido senoidal. El período de la onda se representa por t y su frecuencia por 1/t.

1.3 Cómo viaja el sonido en el aire

El aire se compone de moléculas de gas y tiene la propiedad de la elasticidad (imagina que taponas con el dedo pulgar la salida de aire de una bomba de bicicleta, y comprimes el aire que hay dentro: el aire es elástico). Las ondas de sonido longitudinales viajan a través del aire de manera análoga a como cae una fila de fichas de dominó, colocadas de pie una al lado de la otra, cuando se empuja a la primera de ellas. El semiciclo de compresión creado por la fuente vibratoria hace que se produzca un efecto de choque entre partículas de aire contiguas. A esto sigue normalmente una descompresión del mismo calibre, que provoca un desplazamiento similar de partículas en sentido opuesto.

Podemos ver que el efecto neto resultante es que las partículas individuales no viajan realmente –oscilan alrededor de un punto fijo– pero el resultado es que se genera una onda que parece moverse alejándose de la fuente. La velocidad a la que se aleja depende de la densidad y elasticidad de la sustancia que atraviesa. En el aire esta velocidad es relativamente baja, comparada con la velocidad a la que el sonido viaja a través de la mayoría de los sólidos. La velocidad del sonido en el aire es, aproximadamente, 340 metros por segundo ($m\ s^{-1}$), aunque ello depende de la temperatura del aire. A la temperatura de congelación la velocidad se reduce hasta estar próxima a los 330 $m\ s^{-1}$. En el acero, para dar un ejemplo de sólido, la velocidad del sonido está alrededor de los 5100 $m\ s^{-1}$.

La longitud de onda y la frecuencia se relacionan entre sí muy fácilmente, siempre que se conozca la velocidad de la onda (representada normalmente por la letra *c*):

$$c = \lambda f \quad \text{ó} \quad \lambda = c/f$$

Veamos algunos ejemplos: suponiendo una temperatura ambiente normal, la longitud de onda en el aire de un sonido de 20 Hz (el límite de frecuencias bajas, BF, en el espectro de audio), sería:

$$\lambda = 340/20 = 17 \text{ metros},$$

mientras que la longitud de onda de 20 kHz (límite de frecuencias altas, AF, en el espectro de audio) sería 1'7 cm. Según esto, da la impresión de que la longitud de onda del sonido varía entre ser muy grande para frecuencias bajas, en relación con la mayoría de los objetos de nuestro entorno, y muy pequeña –comparado con los mismos objetos– para frecuencias altas. Esto

es importante cuando se analiza el comportamiento del sonido al toparse con un objeto: el objeto puede actuar como una barrera para el sonido, o bien hacer que éste se curve alrededor del objeto (ver Ficha Temática 1.5).

1.4 Sonidos simples y sonidos complejos

En el ejemplo anterior el sonido tenía una forma de onda simple –una onda senoidal– como la que podría resultar de un sistema vibratorio sencillo, del tipo de un peso suspendido de una cuerda. Las ondas senoidales representan un sonido puro, puesto que tienen energía para una única frecuencia. Se las denomina normalmente *tonos puros*. No son fáciles de encontrar en la vida real (aunque pueden generarse eléctricamente) puesto que la mayoría de las fuentes sonoras no vibran de una manera tan simple. El silbido de una persona, por ejemplo, es un sonido que se aproxima a una onda senoidal. La mayoría de los sonidos reales, sin embargo,

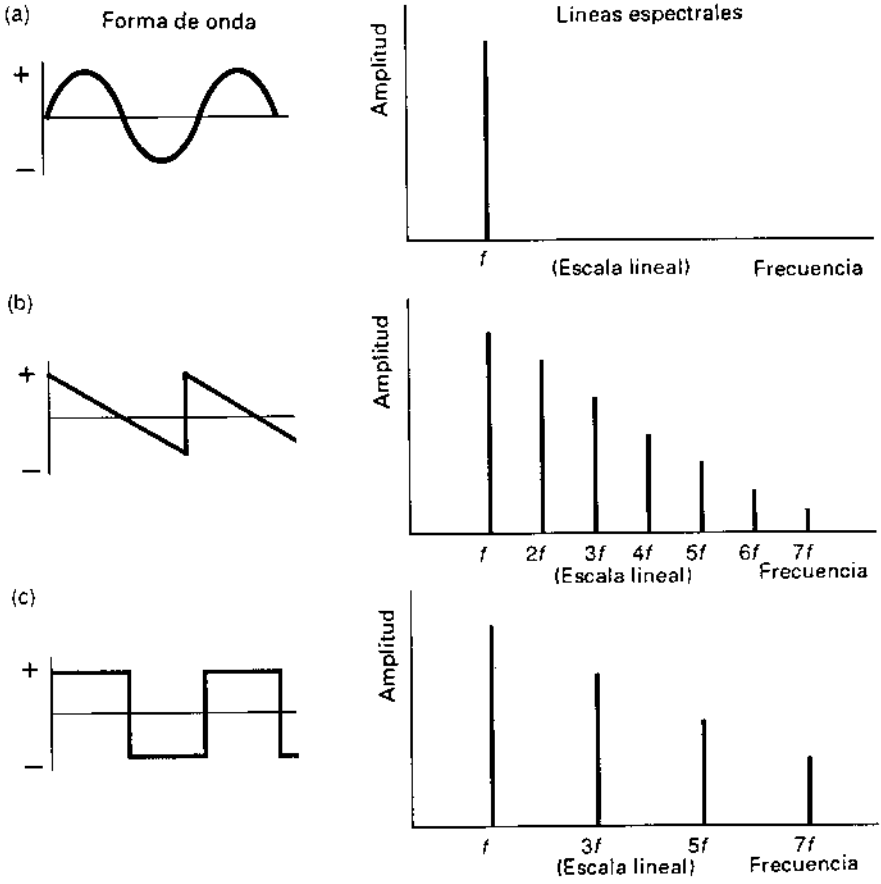


Figura 1.4 Líneas espectrales correspondientes a algunas formas de onda simples. (a) Una onda senoidal tiene una única componente a la frecuencia fundamental. (b) La onda en diente de sierra consta de una componente fundamental y sus múltiplos enteros con amplitudes que van decreciendo paulatinamente. (c) La onda cuadrada está formada por componentes a múltiplos impares de la frecuencia fundamental.

están hechos a base de combinaciones de diferentes modelos vibratorios, de los que resulta una forma de onda más compleja. Cuanto más compleja es una forma de onda, más tiende a parecerse al ruido, y cuando la onda presenta un modelo muy aleatorio se dice que dicho sonido es *ruido* (ver sección 1.6).

La característica más importante de los sonidos que tienen un tono definido es que son repetitivos: la forma de onda, no importa lo compleja que sea, repite su patrón a intervalos regulares y siempre de la misma manera. Todas estas ondas pueden descomponerse en series de componentes conocidos como *armónicos*, mediante un proceso matemático denominado análisis de Fourier (debido al matemático Joseph Fourier). En la figura 1.4 pueden verse algunos ejemplos de espectros para diferentes formas de onda. Esta figura muestra otra manera de representar gráficamente las características del sonido; a saber, mediante las denominadas *líneas espectrales*, que indican la frecuencia en el eje horizontal y la amplitud en el vertical. Muestran también la potencia relativa de los componentes de distinta frecuencia que conforman un sonido. Donde hay una línea significa que hay una componente espectral. Puede observarse que cuanto más compleja es la onda mayor complejidad tiene también su correspondiente espectro.

Para cada forma de onda, como la de la figura 1.3, existe su correspondiente espectro de líneas: tanto la forma de onda como su espectro de líneas son simplemente dos maneras de representar las características del sonido. La figura 1.3 muestra lo que se denomina representación en el *dominio del tiempo*, mientras que a las líneas espectrales se les denomina representación en el *dominio de la frecuencia*. A menos que se indique lo contrario, en este libro dichas gráficas cubrirán todo el espectro de audiofrecuencia, desde 20 Hz a 20 kHz.

Como caso contrario al de la descomposición de formas de ondas en sus componentes espectrales, también es posible *construir* o *sintetizar* formas de onda sumando las distintas componentes de que constan.

1.5 Espectro de frecuencias de los sonidos periódicos

Como puede verse en la figura 1.4, la onda senoidal simple tiene una representación espectral que consiste en un único componente a la frecuencia de la onda. Ésta se conoce como la frecuencia *fundamental* de oscilación. El resto de las ondas de la figura, como la onda cuadrada, tienen una frecuencia fundamental y además una serie de componentes adicionales por encima de ella. Estos se conocen como *armónicos*, aunque también se les denomina *sobretonos* o *parciales*.

Los armónicos son componentes de la frecuencia de un sonido situados a múltiplos enteros de la frecuencia fundamental; o sea, la frecuencia doble, la triple, la cuádruple, etc. Así, un sonido cuya frecuencia fundamental sea 100 Hz podría también tener armónicos a 200 Hz, 400 Hz y 600 Hz. La razón de la existencia de estos armónicos está en el hecho de que la mayoría de las fuentes vibratorias simples son capaces de vibrar en varios *modos* armónicos simultáneamente. Consideremos una cuerda estirada, como la representada en la figura 1.5. Podemos hacerla vibrar en cualquiera de los diferentes modos, correspondientes a múltiplos enteros de su frecuencia fundamental de vibración (el concepto de «onda estacionaria» se verá más adelante, en la sección 1.13). El fundamental corresponde al modo en el cual la cuerda se mueve hacia arriba y hacia abajo como un todo, mientras que los armónicos corresponden a modos en los cuales el modelo de vibración se divide en puntos de movimiento máximo y mínimo a lo largo de la cuerda (estos se denominan *antinodos* y *nodos*, respectivamente). Podemos ver que el segundo modo tiene dos picos de vibración, el tercer modo tres picos, etc.

De acuerdo con la terminología en uso, el fundamental se denomina también *primer armónico*, el siguiente componente *segundo armónico*, y así sucesivamente. De manera un tanto confusa, al segundo armónico se le denomina también *primer sobretono*. Para las ondas de la figura 1.4 el tono fundamental tiene la amplitud mayor, mientras que las amplitudes de los armónicos disminuyen conforme crece la frecuencia. Pero esto no siempre se corresponde con

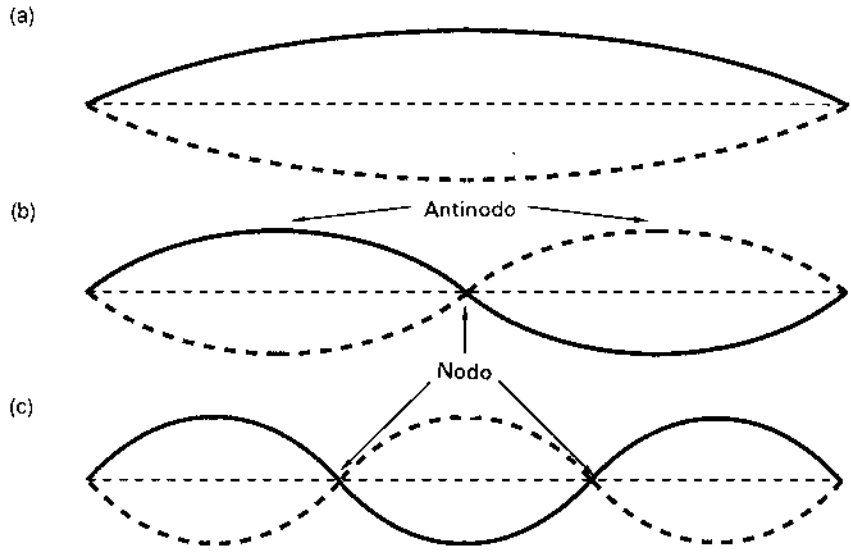


Figura 1.5 Modos de vibración de una cuerda estirada. (a) Fundamental. (b) Segundo armónico. (c) Tercer armónico.

la realidad, puesto que muchas formas de onda tienen espectros armónicos de amplitud mayor que la del tono fundamental. También es fácil encontrar espectros en los que desaparecen algunos armónicos; esto depende por completo de la forma de onda en cuestión.

Por último, dentro del espectro de un determinado sonido también pueden existir sobretonos que *no* están directamente relacionados con el fundamental mediante un simple múltiplo entero. En estos casos no es correcto denominarlos armónicos y sería más apropiado llamarlos *sobretonos* o *parciales inarmónicos* Suelen aparecer en mayor número en el caso de señales vibratorias que tienen una forma complicada, y que no oscilan siguiendo un movimiento armónico simple, sino que tienen varios modos periódicos de vibración. Sus modelos de oscilación suelen ser poco corrientes; este puede ser el caso del sonido de una campana o de un instrumento de percusión. Aún es posible reconocer en ellos una tonalidad «pitch», pero esto depende de la potencia del tono fundamental. En campanas y en otras fuentes similares puede percibirse a veces la presencia de varios sobretonos inarmónicos fuertes.

1.6 Espectro de frecuencias de sonidos no periódicos

Las formas de onda no periódicas no tienen una tonalidad definida y su sonido se asemeja de alguna manera al ruido. Sus espectros de frecuencia podrán estar formados por una colección de componentes de frecuencias no relacionadas entre sí, aunque algunas frecuencias pueden ser más dominantes que otras. El análisis de estas ondas con el fin de representar su espectro de frecuencias es una tarea más complicada que en el caso de las ondas periódicas. Sin embargo, esta representación es posible: se consigue gracias a una técnica matemática llamada *transformación de Fourier*, de la que resulta una representación en el dominio de la frecuencia a partir de una forma de onda en el dominio del tiempo.

Los pulsos cortos y aislados tienen un espectro continuo, que se extiende sobre un amplio margen de frecuencias; cuanto menor es la duración del pulso mayor es el espectro de fre-

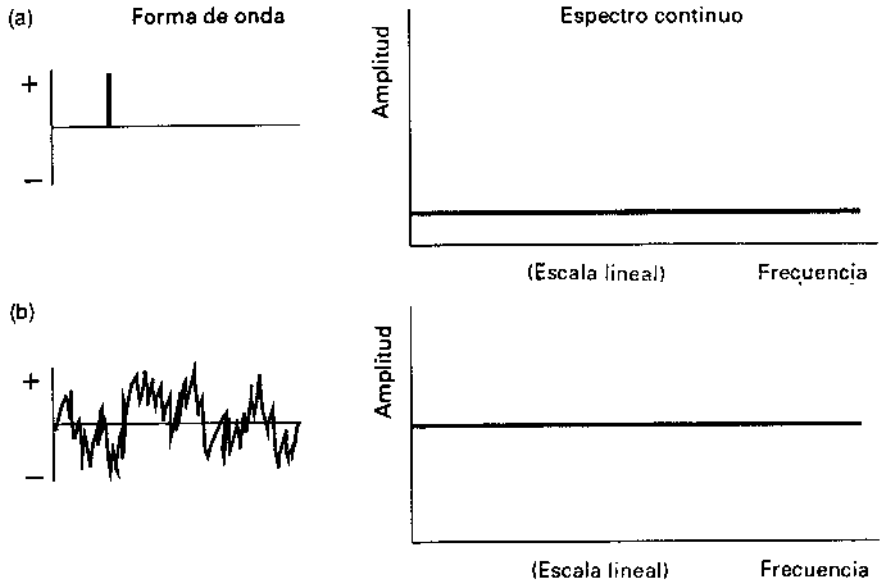


Figura 1.6 Espectro de frecuencias de señales no periódicas. (a) Pulso. (b) Ruido.

cuencias y menor la energía total (ver figura 1.6). A medida que las ondas se hacen más aleatorias tienden a sonar como un soplo. A una señal completamente aleatoria, en la que la frecuencia, amplitud y fase de sus componentes tienen la misma probabilidad y varían constantemente, se le denomina *ruido blanco*. El espectro de una señal de ruido blanco, promediado en un período de tiempo, es plano y se extiende sobre toda la banda de audiofrecuencia (y, en teoría, por encima de ella). El ruido blanco posee la misma energía para un ancho de banda dado, mientras que otro tipo de ruido, conocido como *ruido rosa*, se caracteriza por tener la misma energía por *octava*. Por esta razón el ruido blanco parece tener más energía en alta frecuencia que el ruido rosa.

1.7 Fase

Se dice que dos ondas de la misma frecuencia están «en fase» cuando sus semiciclos de compresión (positivos) y descompresión (negativos) coinciden exactamente en el tiempo y en el espacio (ver figura 1.7). Si se suman o superponen dos señales en fase y de igual amplitud se obtiene otra señal de la misma frecuencia pero de doble amplitud. Se dice que dos señales están en *contrafase* cuando el semiciclo positivo de una coincide con el negativo de la otra. Si se suman estas señales se cancelarán entre sí y el resultado será una ausencia de señal.

Evidentemente estos son dos casos extremos, y es frecuente encontrar sonidos de la misma frecuencia desfasados parcialmente entre sí. La onda resultante de una superposición de tales sonidos se situará a medio camino entre sus componentes (ver figura 1.7(c)).

Las diferencias de fase entre señales pueden ser consecuencia de distintos retardos de tiempo entre ellas. Si dos señales parten simultáneamente de sendas fuentes equidistantes de un observador, estarán en fase cuando lleguen a él (ver, no obstante, la sección 2.5 sobre percepción direccional). Si una de las fuentes está más alejada que la otra, la señal procedente de la primera se retrasará y la relación de fase entre ambas dependerá de la magnitud de este

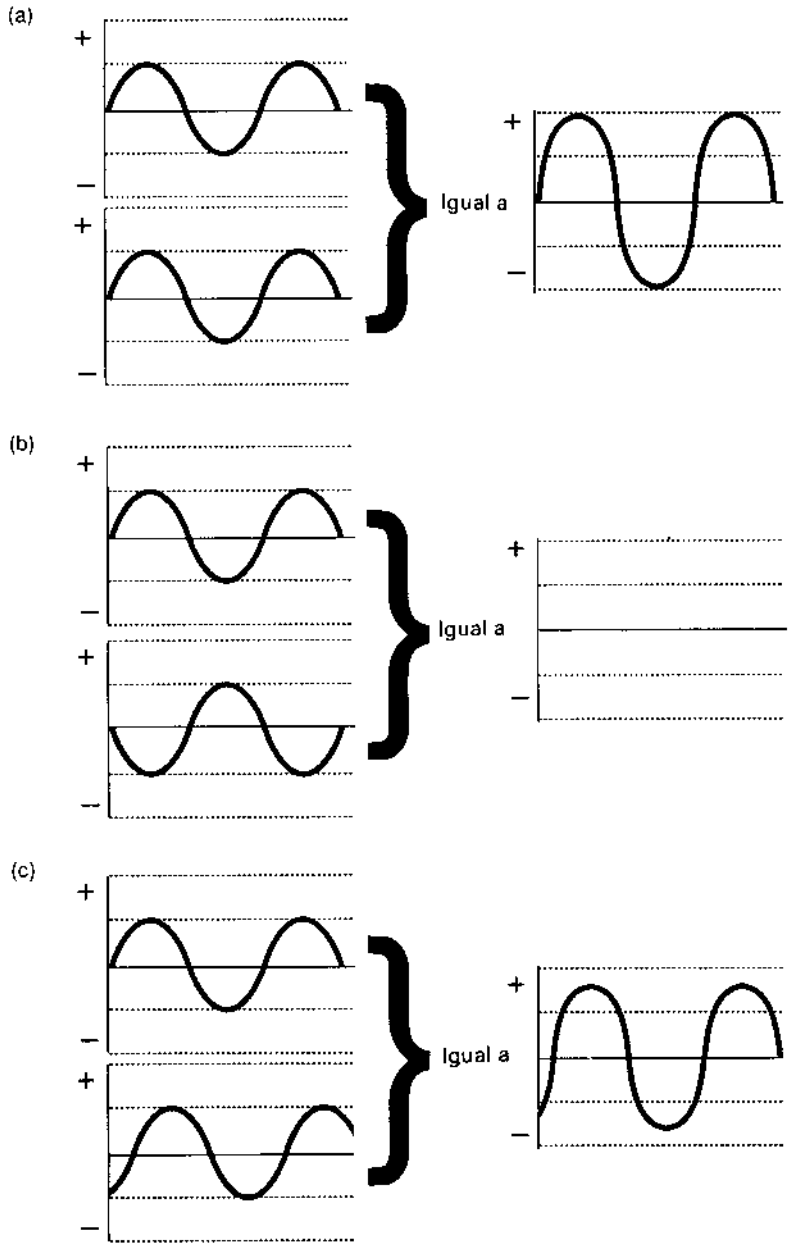


Figura 1.7 (a) Cuando se suman dos ondas idénticas y en fase, el resultado es una onda de la misma frecuencia y doble amplitud. (b) La suma de dos ondas idénticas en contrafase da cero. (c) La suma de dos ondas desfasadas parcialmente origina una onda con una fase y amplitud que son el resultado de la suma punto a punto de las dos.

retraso (ver figura 1.8). Para hacer unos cálculos aproximados podemos decir que el sonido recorre unos 30 cm por milisegundo (ms). Por tanto, si la segunda fuente del ejemplo anterior estuviera un metro más alejada que la primera, se retrasaría alrededor de 3 ms. La diferencia de fase resultante de estas dos señales –que podría ser apreciada– dependerá de la frecuencia del sonido, puesto que a una frecuencia de aproximadamente 330 Hz los 3 ms de retraso corresponderían a una longitud de onda. En este caso la señal retrasada estaría *en fase* con la que no sufrió retardo. Si el retardo hubiera sido la mitad (1'5 ms) las dos señales habrían estado en contrafase a 330 Hz.

La fase se indica normalmente como un número de grados con respecto a una determinada referencia, y esto, a su vez, debe estar relacionado con la naturaleza de una onda senoidal. La mejor manera de ilustrar este punto es representándolo gráficamente. En la figura 1.9 vemos que una onda senoidal puede ser considerada como una gráfica de la posición vertical que ocupa un punto situado en el borde exterior de un disco que gira, representada frente a un eje de tiempos (el diámetro del disco es la amplitud de la onda). La altura del punto aumenta y disminuye regularmente a medida que el disco gira a velocidad constante. La onda senoidal se llama así porque la altura del punto es directamente proporcional al *seno* del ángulo de rotación del disco. Este ángulo lo forman el eje de 0 grados, donde comienza el trazado del punto, y el radio que une el punto con el eje de giro (ver figura). La escala de amplitud vertical del trazado del punto va de –1 (máxima amplitud negativa) a +1 (máxima amplitud positiva), pasando por cero a mitad de recorrido. A 90° de rotación la amplitud de la onda senoidal es la máxima positiva (el seno de 90° es +1) y a 180° es cero (sen 180° = 0). A 270° se tiene el máximo negativo (sen 270° = –1) y a 360° es cero de nuevo. Así pues, en un ciclo de la onda senoidal la rotación del disco ha sido de 360°.

Podemos volver ahora al concepto de relación de fase entre dos ondas de la misma frecuencia. Si consideramos que cada ciclo corresponde a 360°, entonces podremos decir cuántos grados en adelanto o en retraso está una onda con respecto a otra. Para ello, comparamos el punto 0° de una onda con el punto 0° de la otra (ver figura 1.10). En el ejemplo, la primera onda está adelantada 90° con respecto a la segunda.

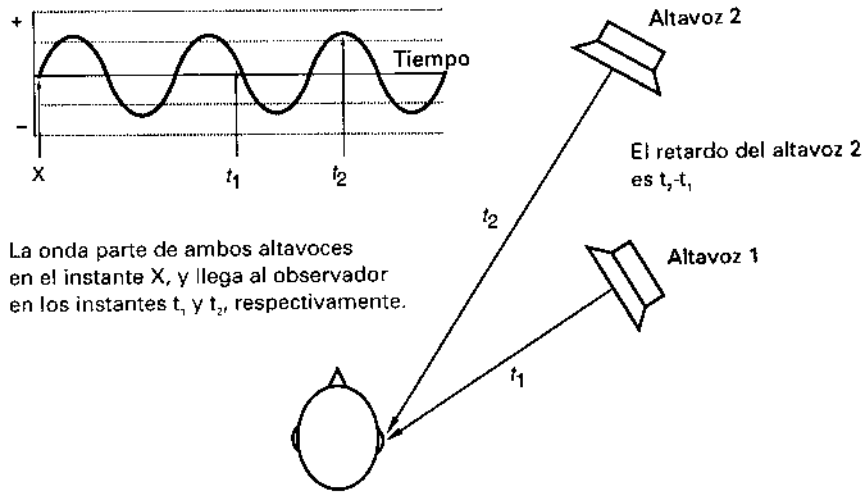


Figura 1.8 Si los dos altavoces de la figura emiten la misma onda al mismo tiempo, la diferencia de fase entre ondas en el oído del observador será directamente proporcional al retardo t_2–t_1.

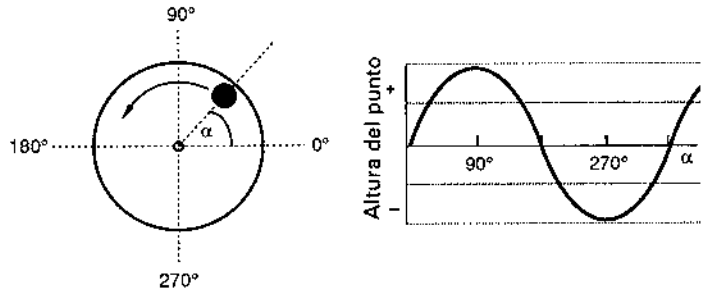


Figura 1.9 La altura del punto varía senoidalmente con el ángulo de rotación del volante. El ángulo de fase de una onda senoidal puede entenderse como el número de grados de rotación del volante.

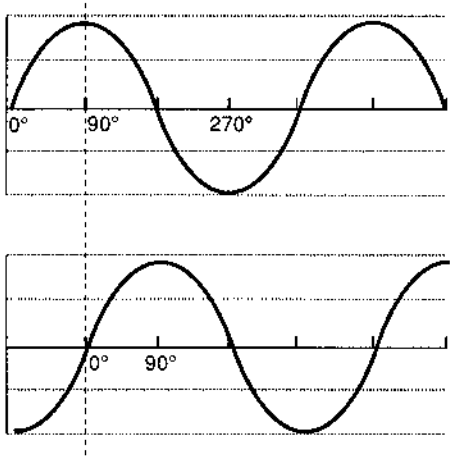


Figura 1.10 Las ondas de la figura están desfasadas 90° entre sí.

Es importante notar que la fase es un concepto relevante sólo en el caso de ondas continuas periódicas; cuando se trata de sonidos impulsivos o transitorios tiene un significado menor y lo que importa en este caso es la diferencia en tiempos. Del anterior planteamiento puede deducirse que: (a) cuanto más alta es la frecuencia mayor es la diferencia de fase que resultaría de un retardo dado entre dos señales, y (b) según esto es posible que exista una diferencia de fase mayor de 360° si el retardo es lo suficientemente grande para retrasar la segunda señal más de un ciclo. En este último caso resulta difícil decir cuántos ciclos de retardo han transcurrido –a menos que aparezca una discontinuidad en la señal– puesto que una diferencia de fase de 360° no puede distinguirse de una diferencia de fase de 0°.

1.8 El sonido en forma eléctrica

Aunque el sonido que oímos se debe a la compresión y enrarecimiento del aire, a menudo se necesita convertirlo a forma eléctrica, de manera que permita operaciones tales como ampli-

ficación, grabación o mezcla. Tal y como se detalla en la Ficha Temática 3.1 y en el Capítulo 4, es función del micrófono transformar el sonido de una forma *acústica* a una forma *eléctrica*. El proceso de conversión no se describirá aquí, pero el resultado es importante, puesto que si suponemos por un instante que el micrófono es perfecto, la onda eléctrica resultante tendría exactamente la misma forma que la onda acústica que la originó.

El equivalente, en términos eléctricos, a la amplitud de la señal acústica es el *voltaje* de la señal eléctrica. Si pudiésemos medir el voltaje de salida de un micrófono mientras capta una onda acústica senoidal mediríamos una tensión que variaría también de forma senoidal. La figura 1.11 muestra esta situación y en ella puede apreciarse que una compresión del aire se corresponde con un voltaje positivo, mientras que un enrarecimiento del aire se traduce en un voltaje negativo (ésta es la norma, aunque algunos sistemas de reproducción introducen una *inversión absoluta de fase* entre las señales acústica y eléctrica; de esta forma una compresión acústica se transforma en un voltaje negativo. Algunas personas dicen notar la diferencia).

Otro parámetro importante en términos eléctricos es la *corriente* que recorre el cable desde el micrófono. La corriente es el equivalente eléctrico al movimiento de las partículas del aire, mencionado en la sección 1.3. De la misma manera que la onda acústica se traslada por el movimiento de las partículas de aire, la onda eléctrica se traslada por el movimiento de pequeños portadores de carga que forman parte del metal del cable (estos portadores se denominan *electrones*). Cuando el voltaje es positivo la corriente se mueve en un sentido y cuando es negativo se mueve en sentido contrario. Puesto que el voltaje que genera un micrófono alterna continuamente entre positivo y negativo –en analogía con los ciclos de compresión y enrarecimiento de la onda de sonido– la corriente cambia su sentido con cada semiciclo. Tal y como se vio en la sección 1.3, las partículas de aire no sufren un desplazamiento real. De la misma manera los electrones que producen la corriente eléctrica tampoco se trasladan: simplemente oscilan alrededor de un punto fijo. Esto se conoce como *corriente alterna*, CA.

Podemos explicar lo dicho anteriormente (tanto para ondas acústicas como para eléctricas) mediante un símil hidráulico. Si consideramos una tubería con agua, alimentada mediante un depósito, como muestra la figura 1.12, el voltaje es equivalente a la presión del agua del depósito y la corriente eléctrica equivale a la cantidad de flujo de agua a través de la tubería. La única diferencia en este ejemplo es que la figura se refiere al caso de una *corriente continua*, en la cual el sentido de circulación del fluido no cambia de forma alternada. Debería introducirse aquí el concepto de *resistencia*, que está relacionado con el diámetro de la tube-

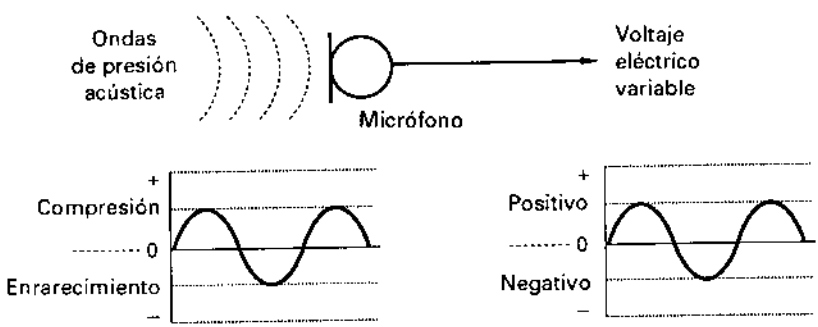


Figura 1.11 Un micrófono convierte variaciones de presión sonora en variaciones de voltaje eléctrico. Por regla general a una compresión le corresponde un voltaje positivo y a un enrarecimiento uno negativo.

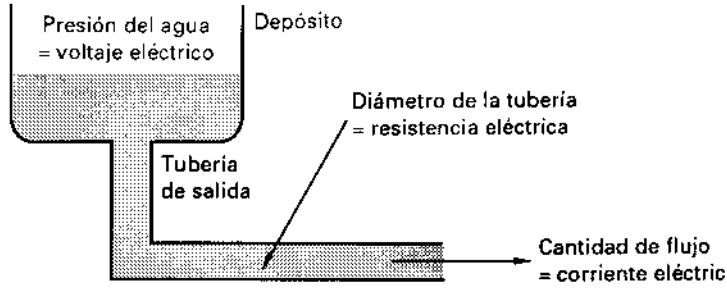


Figura 1.12 Como puede verse en esta figura, existen analogías entre el flujo de agua en una tubería y el flujo de electricidad en un cable.

ría. La resistencia impide el flujo de agua a través de la tubería, de forma parecida a como ocurre con el flujo de electrones a través de un cable o con el flujo de la energía acústica de un sonido a través de una determinada sustancia. Para un voltaje dado (o presión del agua), una alta resistencia (tubería estrecha) permite una corriente pequeña (poco caudal de agua), mientras que una resistencia baja (tubo ancho) permitiría mucha corriente. La relación entre voltaje, corriente y resistencia fue establecida por Ohm, en la ley que lleva su nombre (ver Ficha Temática 1.1). Existe también una relación entre la potencia, el voltaje, la resistencia y la corriente.

En sistemas de CA el concepto de resistencia debe sustituirse por el de *impedancia*, un término complejo que contiene dos componentes: resistencia y *reactancia*. La componente reactancia varía con la frecuencia de la señal; por tanto, la impedancia de un dispositivo eléctrico varía también con la frecuencia. Los condensadores (básicamente dos láminas conductoras separadas por un aislante) son dispositivos eléctricos que presentan una alta impedancia para señales de frecuencias bajas, y baja impedancia en altas frecuencias. No permiten el paso de la corriente continua. Las bobinas (básicamente arrollamientos de cable) son dispositivos eléctricos que presentan una alta impedancia para señales de frecuencias altas y baja impedancia para frecuencias bajas. La característica que define a una bobina es su inductancia. La capacidad se mide en faradios (F) y la inductancia en henrios (H).

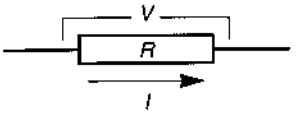
1.9 Visualización de las características de una onda sonora

Llegados a este punto estamos en condiciones de presentar dos aparatos capaces de mostrar gráficamente las diferentes características de las señales sonoras vistas hasta ahora. Sería de gran utilidad poder representar en una pantalla: (a) la forma de onda y (b) su espectro de frecuencias. En otras palabras: (a) la señal en el dominio del tiempo, y (b) la señal en el dominio de la frecuencia.

Para visualizar la forma de onda se utiliza el *osciloscopio*, y para mostrar las frecuencias que están contenidas en una señal y sus amplitudes se utiliza el *analizador de espectros*. En la figura 1.13 se representan ejemplos de ambos aparatos. Los dos aceptan a su entrada señales eléctricas y, tras analizarlas, las presentan en pantalla. El osciloscopio muestra un trazo móvil que barre la pantalla horizontalmente, de izquierda a derecha, con una velocidad fija determinada. Por otro lado, la señal de entrada que se quiere analizar actúa sobre la deflexión vertical del haz, llevándolo hacia arriba para voltajes positivos y hacia abajo para voltajes negativos. De este modo se dibuja la forma de onda correspondiente a un determinado sonido, conforme éste varía con el tiempo. Existen osciloscopios con dos entradas que pueden tra-

FICHA TEMÁTICA 1.1 Ley de Ohm

La ley de Ohm establece que existe una relación simple y fija entre la corriente (I) que atraviesa un dispositivo, el voltaje entre sus bornas (V) y su resistencia (R), según se muestra en la figura:



$$V = I\,R,$$

o

$$I = V/R,$$

o

$$R = V/I$$

Así, por ejemplo, si conocemos la resistencia del dispositivo y puede medirse el voltaje entre sus extremos, entonces podremos calcular la corriente que lo atraviesa.

Hay también una relación entre estos parámetros y la *potencia* en vatios (W) disipada en el componente.

$$W = I^2R = V^2/R$$

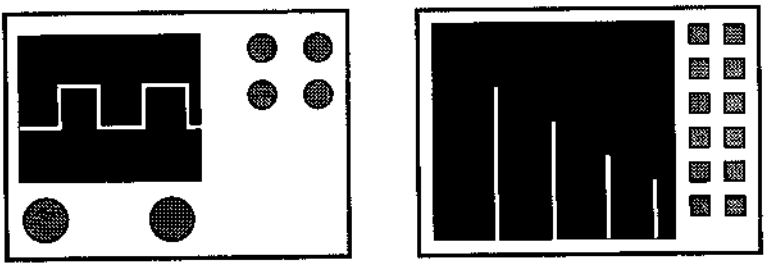


Figura 1.13 (a) Un osciloscopio dibuja la forma de onda de una señal eléctrica por medio del movimiento de un haz de electrones que es desplazado hacia arriba por una señal positiva y hacia abajo por una señal negativa. (b) Un analizador de espectro dibuja el espectro de frecuencias de una onda eléctrica mediante líneas que representan las diferentes componentes espectrales de la señal.

zar dos ondas al mismo tiempo; esto puede ser de gran utilidad para comparar las fases relativas de dos señales cualesquiera (ver sección 1.7).

El analizador de espectros funciona de manera diferente, dependiendo del método de análisis espectral. Un analizador en tiempo real muestra líneas espectrales, como las descritas anteriormente en este capítulo, que son actualizadas constantemente para representar las componentes de frecuencia de la señal de entrada en el eje horizontal, junto con sus correspondientes amplitudes en la escala vertical.

1.10 El decibelio

El decibelio es una unidad de uso muy extendido en ingeniería de sonido. Se emplea incluso más a menudo que otras unidades que representan valores absolutos, como voltios, vatios, etc., puesto que es una manera bastante apropiada de representar la *relación* entre las amplitudes de dos señales. Al hablar de decibelios se utilizan números más pequeños, que dan una

idea más aproximada de los cambios que representan en la amplitud de la señal. Al mismo tiempo ayuda a comprimir el margen de valores entre los niveles de sonido máximo y mínimo que pueden encontrarse en señales reales. Por ejemplo: el rango de intensidades de sonido que puede captar el oído humano es del orden de 10^{14}, desde 0'000 000 000 001 W m^{-2} hasta aproximadamente 100 W m^{-2}. Sin embargo, ese mismo margen expresado en decibelios va sólo desde 0 a 140 dB.

En la Ficha Temática 1.2 se explica con algunos ejemplos el uso del decibelio. La relación entre el decibelio y la percepción humana del sonido se discutirá con más detalle en el Capítulo 2. Los niveles de operación en equipos de grabación serán tratados por su parte en las secciones 3.5, 7.5 y 8.5.

Los decibelios no se emplean únicamente para indicar la relación entre dos señales o el nivel de una señal con respecto a otra de referencia, sino que pueden utilizarse también para describir la ganancia en tensión de un dispositivo. Por ejemplo, un amplificador de micrófono puede tener una ganancia de 60 dB, lo que equivale a multiplicar el voltaje de entrada por un factor de 1000, según se demuestra a continuación:

$$20 \log 1000/1 = 60 \text{ dB}$$

1.11 Potencia sonora y presión sonora

Una fuente de sonido elemental, como puede ser la esfera pulsante mencionada al comienzo de este capítulo, radia su potencia sonora *omnidireccionalmente*, o sea, por igual en todas las direcciones. Esto sería equivalente a una versión tridimensional de las ondas que origina una piedra al caer en un estanque de agua. La fuente de sonido genera una determinada cantidad de potencia, medida en *vatios*, que se distribuye gradualmente sobre una extensa área. Esta área va aumentando a medida que el frente de onda se aleja de la fuente. Así pues, la cantidad de potencia por metro cuadrado que atraviesa la superficie de la esfera imaginaria que rodea la fuente va disminuyendo conforme aumenta la distancia (ver Ficha Temática 1.3). Como dato práctico, la intensidad del sonido directo que parte de la fuente disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente (ver figura 1.14).

La cantidad de potencia acústica generada por fuentes de sonido real es sorprendentemente pequeña, comparada con el número de vatios de potencia eléctrica necesarios para encender una bombilla, por ejemplo. Una fuente acústica que radie 20 W produce un nivel de presión sonora próximo al umbral de dolor si el oyente se sitúa cerca de la fuente. La mayoría de las fuentes sonoras que podemos encontrarnos a diario generan potencias de sonido de fracciones de vatio, y esta energía se disipa normalmente en forma de calor (ver más adelante). La cantidad de calor producida por la disipación de energía acústica es relativamente insignificante: la probabilidad de que se incremente la temperatura de una habitación gritando es mínima, al menos en el sentido físico de temperatura (!).

La potencia acústica se confunde a veces con la potencia de salida del amplificador que se utiliza para alimentar a un altavoz. Los ingenieros de sonido están familiarizados con amplificadores que tienen potencias de salida de muchos cientos de vatios. Es importante tener en cuenta que los altavoces son dispositivos de bajo rendimiento: esto es, transforman en potencia acústica sólo una pequeña proporción de la potencia eléctrica que reciben a su entrada. Así, aunque la entrada a un altavoz fuera, por ejemplo, de 100 W eléctricos, la potencia acústica podría quedar en sólo 1 W, suponiendo un altavoz con un rendimiento del 1 %. El resto de la potencia se disiparía en forma de calor en la bobina del altavoz.

La *presión* sonora es el efecto de la potencia del sonido en sus proximidades. Esto puede explicarse mediante una analogía térmica: la potencia del sonido equivale a la energía calorífica generada por un radiador en una habitación, mientras que la presión sonora equivale a la temperatura del aire en la habitación. La temperatura es lo que apreciaría una persona que

FICHA TEMÁTICA **1.2**

El decibelio

Definición de decibelio

El decibelio está basado en el logaritmo del cociente entre dos números. Indica cuánto es mayor o menor un valor que el otro. Puede utilizarse también como unidad absoluta de medida, siempre y cuando el valor de referencia sea fijo y conocido. En algunos campos de la ingeniería de sonido se han establecido algunas referencias estandarizadas para escalas en decibelios (ver más adelante).

El número de decibelios es igual a diez veces el logaritmo en base diez de la relación entre las potencias de dos señales:

$$dB = 10 \log_{10} (P_1/P_2)$$

Por ejemplo, la diferencia en decibelios entre una señal con una potencia de 1 W y una de 2 W es 10 log (2/1) = 3 dB.

Si el decibelio se utiliza para comparar otros valores que no sean potencias de señal, debe tenerse en cuenta la relación de esos valores con la potencia. El voltaje y la potencia tienen entre sí una relación cuadrática (de la ley de Ohm: $W = V^2/R$); por tanto, para comparar dos voltajes se emplea:

$$dB = 10 \log (V_1^2/V_2^2), \text{ ó } 10 \log (V_1/V_2)^2,$$
$$\text{o sea: } dB = 20 \log (V_1/V_2)$$

Por ejemplo, la diferencia en decibelios entre una señal con una amplitud de 1 voltio y una de 2 voltios es de 20 log (2/1) = 6 dB. O sea, doblar el voltaje supone un incremento de 6 dB y doblar la potencia equivale a incrementar 3 dB. Pueden aplicarse relaciones similares para el caso de la presión sonora (análoga al voltaje eléctrico) y para la potencia sonora (análoga a la potencia eléctrica).

Decibelios con una referencia

Si el nivel de una señal se expresa en decibelios, debe darse al mismo tiempo la referencia con la que se han calculado; de lo contrario, la cifra en dB no significa nada. Ejemplo: la expresión «nivel de señal = 47 dB» puede no tener significado alguno a menos que uno sepa que dicha señal está 47 dB por encima de un punto conocido. Por el contrario, la expresión «+8 dB, ref. 1 V» tiene un significado concreto, puesto que se sabe que el nivel es 8 dB por encima de 1 voltio; con esto podríamos calcular el voltaje de esa señal.

En la práctica existen excepciones a esta norma, puesto que en algunos campos se acepta un nivel de referencia de forma implícita. Los niveles de presión sonora (SPL) son un ejemplo, ya que el nivel de referencia está definido universalmente como 210^{-6} N m^{-2} (20 µPa). Así pues, la indicación «SPL = 77 dB» puede ser aceptable, aunque pueda existir aún la confusión al no precisar si se trata de curvas ponderadas o no, por ejemplo (ver Ficha Temática 1.4). Cuando se trabaja en grabación de sonido, el valor 0 dB –o «nivel cero»– es un nivel de referencia nominal empleado para alinear equipos y ajustar niveles de grabación. Su valor corresponde normalmente a 0'775 V (0 dBu). No en todos los lugares se utiliza este valor de referencia; algunos estudios, por ejemplo, emplean +4 dBu. El valor «0 dB» no significa «ausencia de señal», significa que la señal a la que se refiere tiene el mismo nivel que la de referencia.

Para indicar el estándar de referencia que se emplea en cada caso suele colocarse una letra después de «dB» (por ejemplo, «dBm»). A continuación se dan algunos ejemplos de las diferentes abreviaturas empleadas normalmente. A veces el sufijo indica una particular característica de ponderación en frecuencia, utilizada para medidas de ruido («dBA», por ejemplo).

Abreviatura	*Nivel de referencia*
dBV	1 voltio
dBu	0'775 voltios (Europa)
dBv	0'775 voltios (EE.UU.)
dBm	1 milivatio (ver sección 13.9)
dBA	dB SPL, respuesta con ponderación A

La lista completa de sufijos está recogida en la Recomendación 574–1, 1982 de CCIR.

Valores más significativos en decibelios (voltajes o SPL)

En sistemas de audio es más común entenderse en términos de relación de voltajes o relación de SPL, en lugar de relaciones de potencias. A continuación se recogen algunas equivalencias útiles entre dB y sus correspondientes coeficientes de multiplicación:

dB	*Factor multiplicador*
0	1
+3	$\sqrt{2}$
+6	2
+20	10
+60	1000

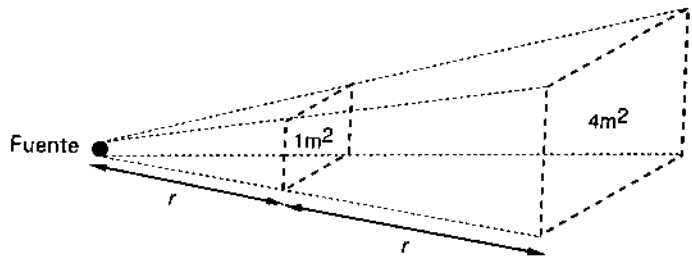


Figura 1.14 La potencia de sonido que haya atravesado una superficie de 1 m^2 de espacio a una distancia r de la fuente, atravesará 4 m^2 a una distancia $2r$; tendrá, por tanto, un cuarto de intensidad.

FICHA TEMÁTICA 1.3 Ley cuadrática inversa

La *ley cuadrática inversa* determina el modo en que disminuye la potencia por unidad de superficie (intensidad) de un frente de onda, conforme éste se aleja de la fuente: la intensidad disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente. ¿Por qué ocurre así? Porque la potencia sonora que parte de una fuente puntual se esparce sobre la superficie de una esfera (S), cuya expresión matemática es:

$$S = 4\pi r^2,$$

donde r es la distancia a la fuente, o radio de la esfera (ver figura).

Si la potencia original de la fuente es W vatios, la intensidad, o potencia por unidad de superficie (I), a una distancia r es:

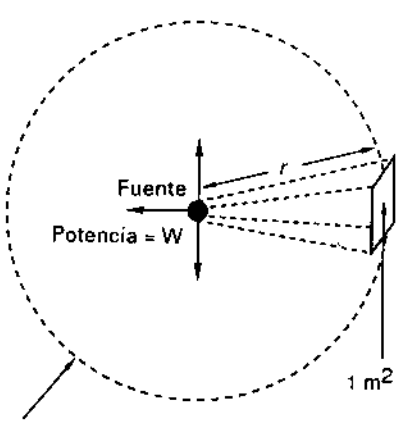
$$I = W/(4\pi r^2)$$

Si la fuente tuviera una potencia de 0'1 W, por ejemplo, la intensidad a 4 m de distancia sería:

$$I = 0'1 \div (4 \times 3'14 \times 16) = 0'0005 \text{ W m}^{-2}$$

El nivel de intensidad sonora («Sound Intensity Level», SIL) de esta señal, expresado en decibelios, puede calcularse comparándola con el nivel de referencia 10^{-12} W m^{-2}:

$$SIL\ (dB) = 10 \log (5 \times 10^{-4} \div 10^{-12}) = 87\ dB$$



entrase en la habitación, si bien la fuente de potencia es el propio radiador. El nivel de presión sonora («Sound Pressure Level», SPL) se mide en Newtons por metro cuadrado (N m^{-2}). Conviene fijar un nivel de referencia para las medidas de presión sonora e intensidad. Se ha tomado como referencia el valor 0 dB, que equivale, aproximadamente, al umbral de audición (el sonido más bajo que puede percibir una persona normal) a 1 kHz, y corresponde a un SPL de 2×10^{-5} N m^{-2}. Esto, a su vez, es equivalente a una intensidad aproximada de 10^{-12} W m^{-2} en campo libre (ver más adelante).

Los niveles de presión sonora se expresan normalmente en dB (ejemplo: SPL = 63 dB significa que el nivel de presión sonora está 63 dB por encima de 2×10^{-5} N m^{-2}). El SPL expresado en dB puede no representar con precisión un determinado nivel sonoro. Para ello se utiliza una unidad subjetiva, obtenida experimentalmente, denominada *fono*, que se estudiará más detenidamente en el Capítulo 2. En la Ficha Temática 1.4 se explican algunos métodos para medida de niveles de presión sonora.

FICHA TEMÁTICA 1.4 Medida del SPL

Para medir el nivel de un sonido en un punto determinado se utiliza un medidor de nivel de presión sonora (SPL) como el representado en la figura. Este aparato consta de un micrófono omnidireccional (presión) de alta calidad (ver sección 4.4.1) conectado a unos amplificadores, unos filtros y a un instrumento de medida.

Filtros de ponderación

El voltaje de salida del micrófono es proporcional al SPL que incide sobre él; los filtros de ponderación pueden utilizarse para atenuar las bajas y las altas frecuencias, de acuerdo con una curva normalizada, como es el caso de la curva de ponderación tipo «A». Esta curva corresponde, aproximadamente, a la sensibilidad del oído humano para niveles bajos (ver Capítulo 2). Los niveles de presión sonora expresados simplemente en «dB» están normalmente sin ponderar –todas las frecuencias son tratadas por igual–, pero cuando se expresan en «dBA» se está indicando que han sido ponderados según la curva A. Esto significa que se ajustan con mayor precisión a la sonoridad *percibida* por el oído. La ponderación A se diseñó en un principio para cubrir hasta una sonoridad de 55 fonos, puesto que la respuesta en frecuencia del oído se vuelve plana para niveles más altos; entre 55 y 85 fonos se utilizaría la curva «B» y por encima de 85 fonos la curva «C». La actual normalización sugiere, sin embargo, que la curva «A» puede utilizarse para cualquier SPL, debido principalmente a que resulta más fácil comparar medidas. No obstante, la curva «C» sigue utilizándose en medidas de acústica de vehículos.

Curvas de valoración NC y NR

Los niveles de ruido se miden normalmente en recintos de registro sonoro, comparando el nivel de ruido en el margen audible con un conjunto de gráficas denominadas *curvas NC* «noise criteria» o *curvas NR* «noise rating». Estas gráficas establecen cuánto ruido puede ser aceptado, en función de un determinado criterio, en cada una de las estrechas bandas de frecuencia. Para las curvas NC se utiliza el criterio de la curva más próxima por encima de la cual no se sitúa ninguna de las medidas realizadas. Las curvas NC se utilizan principalmente en EE.UU., mientras que las curvas NR están más extendidas en Europa. Permiten un nivel de ruido considerablemente más alto en las bandas de frecuencias bajas que en las de frecuencias altas, puesto que el oído es menos sensible para las primeras.

Para medir el NC o NR de un lugar es necesario conectar el micrófono de medida a una serie de filtros o a un analizador de espectro que sea capaz de representar el SPL en bandas de octava o de tercio de octava.

Lecturas recomendadas

British Standard 5969. *Specification for sound level meters.*

British Standard 6402. *Sound exposure meters.*

1.12 Campo libre y campo reverberante

El campo libre, en términos acústicos, es un área en la que no hay reflexiones. Los campos completamente libres son difíciles de encontrar en la práctica, puesto que siempre existe algún tipo de reflexión próxima, aunque sea de nivel muy bajo. Si el lector es capaz de imaginar la sensación de estar al aire libre, suspendido por encima del suelo y lejos de edificios o cualquier otra superficie, tendrá entonces la idea de lo que puede ser la experiencia del campo libre. El resultado es un ambiente acusticamente «muerto». Los experimentos acústicos se llevan a cabo a veces en *cámaras anecoicas*, que son recintos tratados de forma especial para que se eliminen casi por completo las reflexiones a cualquier frecuencia –sus superficies son totalmente absorbentes–. De esta forma se pretenden crear condiciones semejantes a las del campo libre.

En el campo libre toda la energía sonora de la fuente se radia desde la propia fuente: no hay energía reflejada. Así pues, la ley cuadrática inversa (Ficha Temática 1.3) determina completamente el nivel sonoro a cualquier distancia de la fuente. Por supuesto, la fuente puede ser direccional, en cuyo caso deberá tenerse en cuenta el *factor de directividad*. Una fuente con un factor de directividad de 2 en su eje de radiación máxima radia en esa dirección el doble de potencia de la que tendría si estuviese radiando de forma omnidireccional. El *índice* de directividad de una fuente se mide en dB, correspondiendo al ejemplo anterior un índice de directividad de 3 dB. Si se calcula la intensidad a una distancia dada de una fuente direccional (según se muestra en la Ficha Temática 1.3), debe tenerse en cuenta su factor de directividad en el eje en cuestión. Esto se hace multiplicando la potencia de la fuente por el factor de directividad y dividiendo por $4\ \pi r^2$. En cualquier recinto están presentes tanto el sonido directo como el reflejado. A una cierta distancia de una fuente situada dentro de un recinto se dice que el campo acústico es *difuso* o *reverberante*, puesto que la energía del sonido reflejado predomina sobre el sonido directo. Un instante después de que la fuente haya empezado a generar sonido se habrá formado dentro del recinto un modelo difuso de reflexiones, y la energía del sonido reflejado será prácticamente constante en cualquier punto de la sala. En las proximidades de la fuente el sonido directo tiene aún un nivel bastante alto, de forma que el reflejado contribuye mínimamente en el total. Esta región del espacio se denomina *campo próximo* (en grabación de sonido es frecuente hacer uso de los denominados «monitores de campo próximo», que son altavoces situados a poca distancia del oyente, de forma que el sonido directo predomine sobre los efectos que produce la sala).

La distancia exacta a una fuente para la cual la energía reverberante comienza a dominar sobre la directa depende del tiempo de reverberación del recinto; este, a su vez, depende de la absorción y del volumen del propio recinto (ver Ficha Temática 1.5). La figura 1.15 muestra –para tres tipos de recintos– cómo varía el SPL a medida que aumenta la distancia a la fuente. Puede verse claramente que en la sala «muerta» las condiciones se aproximan a las del campo libre (con una intensidad sonora que tiene unas pérdidas cercanas a los esperados 6 dB cada vez que se dobla la distancia), puesto que la cantidad de energía reverberante es muy pequeña. La *distancia crítica*, para la cual se igualan los niveles del sonido directo y del sonido reflejado, es mayor que en el caso de una sala muy reverberante. En un recinto reverberante el nivel de presión sonora no varía mucho con la distancia a la fuente, puesto que la energía del sonido reflejado es predominante a partir de poca distancia. Esto es importante a la hora de diseñar un determinado recinto o sala, puesto que, aunque en un control de grabación, por ejemplo, puede ser deseable un tiempo de reverberación corto, ello tiene el inconveniente de que la variación del SPL con la distancia será bastante brusca, siendo necesarios amplificadores de mucha potencia y altavoces de alto rendimiento para proporcionar el nivel adecuado. Un tiempo de reverberación ligeramente mayor hace que la sala sea menos desconcertante para trabajar, al mismo tiempo que rebaja los requerimientos en cuanto a potencia del altavoz.

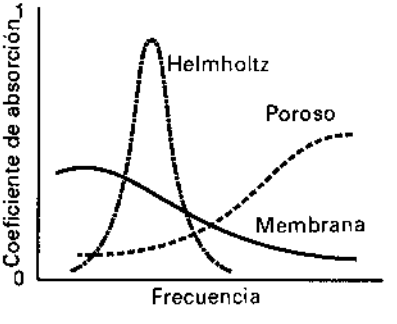
FICHA TEMÁTICA **1.5**

Absorción, reflexión y tiempo de reverberación

Absorción

Cuando una onda sonora alcanza una superficie, parte de su energía es absorbida y parte reflejada. El *coeficiente de absorción* de una sustancia indica, en una escala de 0 a 1, cuánta energía es absorbida. Un coeficiente de absorción de 1 significa absorción total. El coeficiente de absorción de las sustancias varía con la frecuencia.

La cantidad total de absorción presente en un recinto puede calcularse multiplicando el coeficiente de absorción de cada superficie por su correspondiente area, y sumando a continuación los productos. Deben tenerse en cuenta todas las superficies de la habitación, así como la gente, sillas o cualquier otro mueble. En varios textos sobre acústica pueden encontrarse tablas sobre las características de diferentes sustancias (ver *Lecturas recomendadas*). Los materiales porosos tienden a absorber las frecuencias altas más eficientemente que las bajas, mientras que los absorbentes de tipo panel o membrana resonante tienden a ser mejores a frecuencias bajas. Para eliminar dentro de un recinto energía a unas frecuencias determinadas pueden utilizarse absorbentes artificiales altamente «sintonizados» (absorbentes Helmholtz). En la siguiente figura se muestran las variaciones de algunos coeficientes de absorción.



Reflexión

El tamaño de un objeto en relación con la longitud de onda de un determinado sonido es importante para conocer si la onda sonora le rodeará o será reflejada por él. Cuando un objeto es grande en relación a la longitud de onda se comportará como una barrera parcial para el sonido, mientras que cuando el objeto es pequeño el sonido se curvará o se difractará alrededor de él. Puesto que las longitudes de onda en el aire varían entre, aproximadamente, 18 metros para frecuencias bajas y algo más de 1 cm para frecuencias altas, los objetos que podemos encontrarnos más a menudo actuarán como barreras para el sonido de altas frecuencias, pero tendrán un efecto despreciable en las frecuencias bajas.

Tiempo de reverberación

W.C. Sabine desarrolló una fórmula simple y bastante fiable para calcular el tiempo de reverberación (TR_{60}) de un recinto, asumiendo que el material absorbente esté distribuido uniformemente por todas las superficies. La fórmula relaciona el volumen de la sala (V) y su absorción total (A) con el tiempo que tarda la presión sonora en caer 60 dB, a partir de que se apaga la fuente de sonido:

$$TR_{60} = (0'16\ V)/A \text{ segundos}$$

En una sala grande, con un considerable volumen de aire y con bastante distancia entre superficies, la absorción del aire adquiere mayor importancia, en cuyo caso debe añadirse un nuevo componente a la fórmula anterior:

$$TR_{60} = (0'16\ V)/(A + xV) \text{ segundos,}$$

donde x es el factor de absorción del aire, dado para diferentes temperaturas y humedades.

La fórmula de Sabine ha sido objeto de algunas modificaciones -por personas como Eyring- en un intento por hacerla más fiable para casos extremos de absorción alta. Debe tenerse en cuenta que esta fórmula es sólo una orientación.

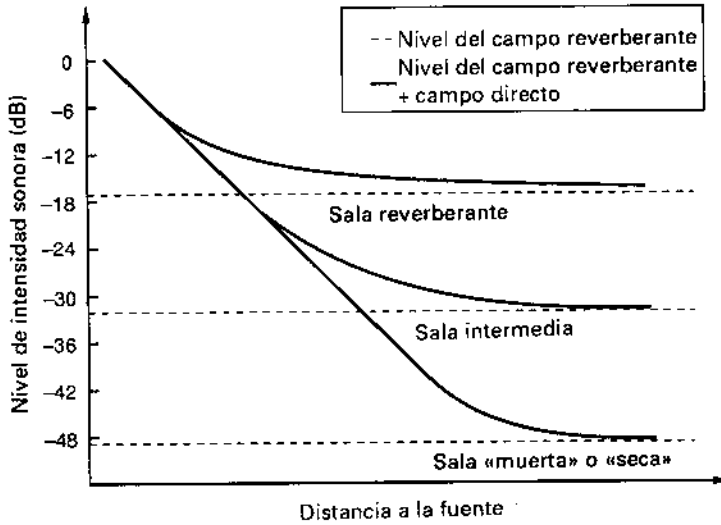


Figura 1.15 A medida que aumenta la distancia a la fuente el sonido directo se atenua pero el reverberante se mantiene prácticamente constante. El mismo nivel sonoro resultante, medido a diferentes distancias de la fuente, depende del tiempo de reverberación del recinto, puesto que en una sala reverberante el nivel del sonido reflejado es más alto que en una sala «muerta».

1.13 Ondas estacionarias

La longitud de onda del sonido varía de forma considerable en todo el margen de frecuencias audibles, según se mencionó en la Ficha Temática 1.5. En frecuencias altas, donde la longitud de onda es pequeña, es apropiado considerar el frente de ondas como si se tratase de luz; como un rayo. Son válidas las mismas leyes, como la de que el ángulo de incidencia de una onda en una pared es el mismo que el ángulo de reflexión. En frecuencias bajas, donde la longitud de onda es comparable con las dimensiones de la habitación, es necesario tener en cuenta otros factores, puesto que la sala se comporta en mayor medida como un resonador complejo. En este caso puede haber ciertas frecuencias para las cuales aparecen fuertes picos y valles de presión en diferentes puntos de la habitación.

Las ondas estacionarias, o *eigentonos* (llamadas también *modos de la sala*), pueden producirse cuando la mitad de la longitud de onda del sonido, o un múltiplo de la misma, es igual a una de las dimensiones de la sala (largo, ancho o alto). En este caso (ver figura 1.16) la onda reflejada en las dos superficies implicadas está en fase con la onda incidente, y tiene lugar un proceso de sumas y restas que hace que aparezcan puntos en la sala en los cuales la presión sonora es muy alta, y otros en los que es muy baja. Para el primer modo (ver figura) hay un pico en ambas paredes y un valle en el centro de la habitación. Puede experimentarse fácilmente con estos modos generando con un oscilador un tono senoidal de baja frecuencia y conectándolo a un amplificador. El altavoz deberá colocarse en una esquina de la sala. A determinadas frecuencias bajas, la sala resonará fuertemente y podríamos notar los picos de presión si camináramos por la habitación. Siempre habrá picos hacia los límites de la sala, con valles distribuidos a intervalos regulares entre ellos. La situación de éstos depende de si el

modo se ha creado entre las paredes o entre suelo y techo. Las frecuencias para las que ocurren estos modos están dadas por la expresión:

$$f = (c/2) \times (n/d),$$

donde c es la velocidad del sonido, d es la dimensión correspondiente (distancia entre muros o entre suelo y techo) y n es el número del modo.

Se puede utilizar una fórmula más compleja para predecir las frecuencias de todos los modos de un recinto, incluyendo dos modos secundarios formados por reflexiones entre cuatro o seis superficies (modos *oblicuo* y *tangencial*). Los modos secundarios tienen normalmente amplitudes menores que los modos principales (modos *axiales*), puesto que los primeros sufren una gran absorción. La fórmula es:

$$f = (c/2) \sqrt{((p/L)^2 + (q/W)^2 + (r/H)^2)},$$

donde p, q, y r son los números de modo para cada dimensión (1, 2, 3,...) y L, W y H son la longitud, anchura y altura de la habitación. Por ejemplo, para calcular el primer modo axial, teniendo en cuenta solo la longitud, tendremos que hacer: p=1, q=0, r=0, etc.

Haciendo algunas operaciones rápidas podrá comprobarse que, para un determinado recinto, los modos están muy separados entre sí para bajas frecuencias, y más próximos para frecuencias altas. Por encima de una determinada frecuencia aparecen tantos modos por octava que resulta difícil identificarlos por separado. Como regla básica, los modos tienden a ser particularmente problemáticos solo hasta los 200 Hz. Cuanto mayor es la sala más próximos se sitúan los modos. En recintos con más de una dimensión igual se producirán los llamados modos degenerados, en los cuales los modos entre dos dimensiones tienen lugar a la misma frecuencia, resultando una resonancia más fuerte que en cualquier otro caso, para una determinada frecuencia. Esto debe evitarse.

Puesto que no pueden evitarse los modos de baja frecuencia como no sea introduciendo una absorción total, el objetivo a la hora de diseñar una sala es reducir sus efectos ajustando las proporciones entre dimensiones para lograr una distribución uniforme. Los expertos en acústica han desarrollado algunos criterios para una distribución «ideal» de modos, pero no

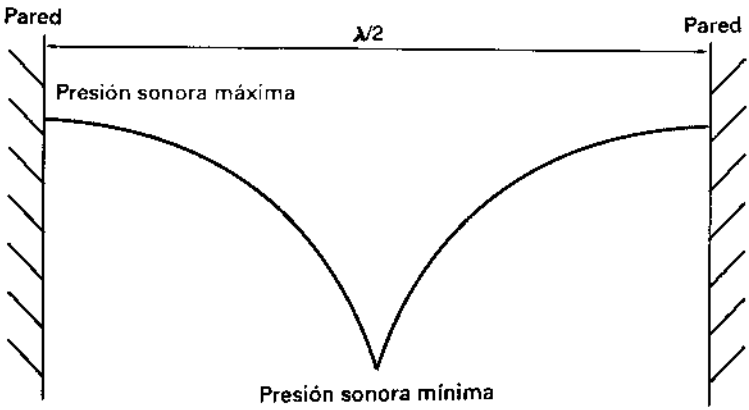
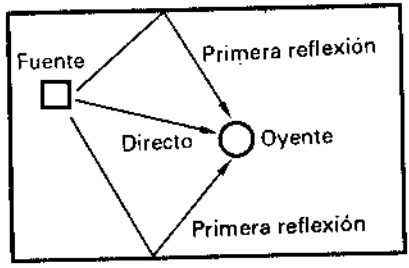


Figura 1.16 Cuando una onda estacionaria se establece entre dos paredes de un recinto, aparecen puntos de presión máxima y mínima. El primer modo simple tiene lugar cuando la mitad de la longitud de onda del sonido es igual a la distancia entre los límites del recinto, según se ve en la figura. La presión máxima está en dichos límites y la mínima en el centro.

FICHA TEMÁTICA 1.6

Ecos y reflexiones

Primeras reflexiones
Las primeras reflexiones son aquellos ecos procedentes de las superficies más próximas en un recinto. Tienen lugar a los pocos milisegundos (hasta 50 ms, aproximadamente) del sonido directo que llega al oyente procedente de la fuente (ver figura). Son estas reflexiones las que dan al oyente la mayor idea sobre el tamaño de un recinto, puesto que el retardo entre el sonido directo y las primeras reflexiones es proporcional a la distancia entre el oyente y las principales superficies del recinto. Los aparatos de reverberación artificial permiten simular unas cuantas primeras reflexiones antes de que se atenúe el nivel del cuerpo principal del sonido reverberante; esto da lugar a diferentes efectos programados que simulan las características de distinto tamaños de recinto.



Ecos
Los ecos pueden considerarse como reflexiones discretas de sonido que llegan al oyente una vez transcurridos más de 50 ms (aproximadamente) desde la llegada del sonido directo. Los ecos son percibidos como sonidos independientes, mientras que las reflexiones dentro de los primeros 50 ms son normalmente integradas por el cerebro junto con el sonido directo, no siendo percibidas conscientemente como ecos. Los ecos se originan normalmente por superficies más distantes y muy reflexivas, como techos altos o paredes traseras lejanas. Los ecos fuertes son normalmente molestos en situaciones de escucha crítica, y deberían ser suprimidos mediante dispersión y absorción.

Ecos pulsantes
Un eco pulsante ocurre a veces cuando se tienen dos de las paredes de un recinto con superficies paralelas y reflectantes, mientras las otras dos son absorbentes. Puede suceder que el frente de onda se quede «atrapado» en sucesivos rebotes entre ambas superficies (las reflectantes) hasta que decae, resultando un efecto «zumbido» o «campanilleo» en los transitorios (al comienzo y al final de los sonidos impulsivos, como el de una palmada seca, por ejemplo).

es este el lugar para tratarlos en detalle. Las salas grandes son, generalmente más agradables que las pequeñas, puesto que la distribución de modos los sitúa más próximos entre sí para bajas frecuencias, y los modos aislados no tienden a sobresalir tanto. En cualquier caso, el tamaño de la sala debe estimarse en función del tiempo de reverberación que se quiere conseguir. Construyendo paredes no paralelas no se evita la formación de nodos (puesto que aún pueden existir modos oblicuos y tangenciales); esta medida hace simplemente que sus frecuencias resulten más difíciles de predecir.

La dificultad práctica que existe con los modos de una sala se deriva de la desigualdad en la presión sonora por todo el recinto a las frecuencias modales. Así, una persona sentada en una posición podría experimentar un nivel muy alto a una determinada frecuencia, mientras otras podrían estar oyendo un nivel muy bajo. Una sala con modos de BF especialmente fuertes «retumbará» a ciertas frecuencias, lo cual es desagradable e indeseable para una escucha crítica. La respuesta de la sala modifica, por ejemplo, la respuesta en frecuencia que se percibe de un altavoz, hasta el punto de que, aunque ésta pueda ser aceptable, los resultados pueden ser pésimos cuando se ve modificada por las características resonantes de la sala.

Los modos de un recinto no son resultado únicamente de las reflexiones en espacios cerrados; en la Ficha Temática 1.6 se dan algunos otros ejemplos.

Lecturas recomendadas

General

Eargle, J. (1990) *Music, Sound, Technology.* Van Nostrand Rheinhold.
Rossing, T. D. (1989) *The Science of Sound,* 2nd Edition, Addison-Wesley

Acústica arquitectónica

Egan, M. D. (1988) *Architectural Acoustics.* McGraw-Hill.
Rettinger, M. (1988) *Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control.* TAB Books.
Templeton, D. and Saunders, D. (1987) *Acoustic Design.* Butterworth Architecture.

Acústica musical

Benade, A. H. (1976) *Fundamentals of Musical Acoustics.* Oxford University Press.
Campbell, M. and Greated, C. (1987) *The Musician's Guide to Acoustics.* Dent.
Hall, D. E. (1991) *Musical Acoustics,* 2nd Edition, Brooks/Cole Publishing Co.

Capítulo 2

Percepción auditiva

En este capítulo haremos una introducción a los mecanismos mediante los cuales se percibe el sonido. El oído humano modifica a menudo los sonidos que le llegan antes de que estos alcancen el cerebro. La interpretación por parte del cerebro de lo que recibe de los oídos variará dependiendo de la información que contienen las señales nerviosas. Es importante comprender el fenómeno de la percepción sonora, precisamente cuando se consideran factores tales como el balance de frecuencias de una determinada señal. Por otro lado, el conocimiento de las técnicas de grabación en estéreo implica entender también el concepto de percepción direccional. A continuación se señalan una serie de aspectos que tienen lugar durante la audición, buscando su relación con el enfoque práctico de la grabación y reproducción del sonido.

2.1 El mecanismo de la audición

Aunque esto no pretende ser una lección de fisiología, es necesario investigar los componentes básicos del oído y ver cómo la información de las señales sonoras se envía al cerebro. La figura 2.1 representa un diagrama del mecanismo del oído; no se pretende una precisión anatómica, sino mostrar los aspectos mecánicos fundamentales. El oído externo está formado por el pabellón auditivo, u oreja, (la estructura visible de piel y cartílago) y el conducto auditivo; termina en la membrana timpánica o tímpano. El oído medio consta de una estructura en forma de palanca, formada por tres huesos, que conecta el tímpano con el oído interno a través de la ventana oval (otra membrana). El oído interno es una estructura ósea espiral rellena de fluido, conocida como cóclea, en el centro de la cual se encuentra una membrana flexible llamada membrana basilar. En la figura se representa esquemáticamente la cóclea, como si estuviera «desenrollada» dentro de una cavidad recta. Al final de la membrana basilar, la parte mas alejada con respecto al oído medio, hay una pequeña fisura, llamada helicotrema, que permite que el fluido pase de la cavidad superior a la inferior. Existen además otros elementos en el oído interno, pero los que aquí se han mencionado son los más significativos.

El tímpano está obligado a vibrar en simpatía con el aire del conducto auditivo cuando éste es excitado por una onda sonora. Estas vibraciones son transmitidas al oído interno mediante los huesos del oído medio, siendo objeto, por parte de la palanca de huesecillos, de una multiplicación del orden de 15:1. La configuración de la palanca, que acopla las diferencias entre la superficie del tímpano y la de la ventana oval, ayuda a adaptar las impedancias de los oídos externo e interno para asegurar una óptima transferencia de energía. De esta forma las vibraciones son transferidas al fluido del oído interno, en el que se establecen ondas de presión. La membrana basilar no tiene la misma rigidez en toda su longitud (es estrecha y rígida en el extremo de la ventana oval y más gruesa y flexible en el extremo opuesto). El flui-

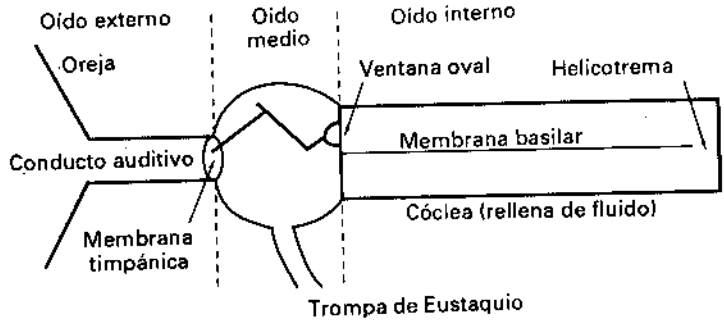


Figura 2.1 Diagrama mecánico simplificado del oído.

do, por su parte, no puede ser comprimido. Así pues, a través de este fluido viaja una onda de presión de alta velocidad que crea una diferencia de presión entre ambos lados de la membrana basilar.

2.2 Percepción de la frecuencia

El movimiento de la membrana basilar depende en gran medida de la frecuencia de la onda sonora, existiendo un máximo de movimiento tanto más próximo a la ventana oval cuanto más alta es la frecuencia (ver figura 2.2).

Para frecuencias bajas se ha observado que la membrana se mueve como un todo, con la máxima amplitud de movimiento en el extremo más alejado, mientras que a frecuencias más altas aparece un pico bien definido. Resulta interesante observar que, por cada octava (cada vez que se dobla la frecuencia), la posición de este pico de vibración máxima se desplaza una longitud equivalente sobre la membrana. Esto parece explicar la preferencia humana por representar cualquier información referida a frecuencias sobre una escala logarítmica, en la que los incrementos de frecuencia se indican mediante octavas, que son incrementos iguales sobre el eje de frecuencia.

La información sobre la frecuencia se transmite al cerebro de dos formas, principalmente. A bajas frecuencias las células ciliadas del oído interno son estimuladas por las vibraciones de la membrana basilar que hace que aquellas descarguen a lo largo del nervio auditivo pequeños impulsos eléctricos que van a parar al cerebro. Se ha comprobado que estos impulsos son síncronos con la onda sonora, de forma que en el cerebro se tiene una medida del

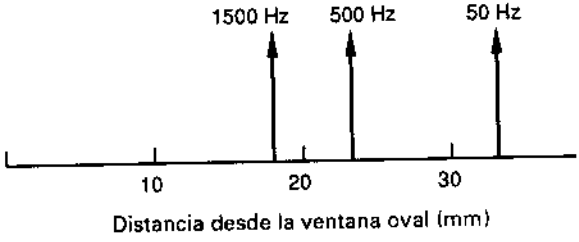


Figura 2.2 La posición de la vibración máxima sobre la membrana basilar se aproxima hacia la ventana oval a medida que crece la frecuencia.

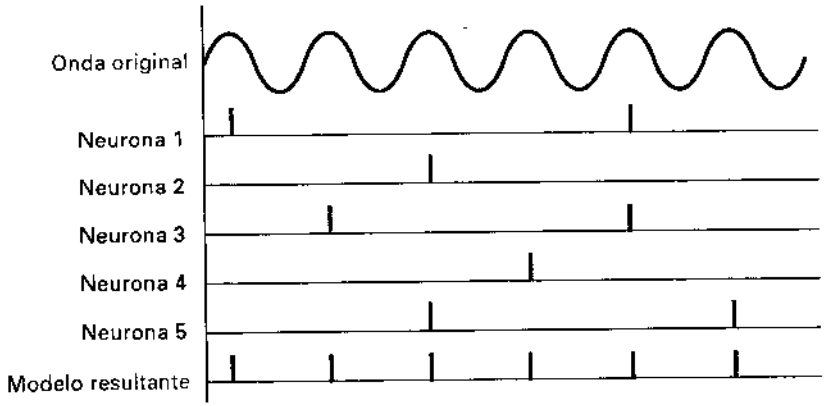


Figura 2.3 Aunque cada neurona no descarga en cada ciclo de la onda sonora causal, el conjunto de las salidas de una combinación de neuronas, descargando en períodos diferentes, representan el período de la onda.

período de la señal. No todas las fibras nerviosas son capaces de producir descargas una vez por cada ciclo de la onda sonora (de hecho, la mayoría tienen una velocidad de descargas espontáneas de un máximo de 150 Hz, estando muchas de ellas muy por debajo de este valor). Así pues, para todas las frecuencias, excepto las más bajas, la información sobre el período se envía mediante una combinación de señales de las fibras nerviosas junto con varias descargas por cada ciclo (ver figura 2.3). Se han hecho pruebas que sugieren que las fibras nerviosas vibran más rápidamente cuanto más fuerte se las «golpea»; esto es, cuanto más fuerte es el sonido, más regularmente pueden verse obligadas a producir descargas. Además, mientras a algunas fibras les es suficiente con un bajo nivel de estimulación, otras únicamente se dispararán con niveles sonoros altos.

El límite superior de frecuencia para la cual las fibras nerviosas parecen dejar de descargar sincronizadamente con la señal está alrededor de los 4 kHz. Por encima de esta frecuencia el cerebro se basa cada vez más en la posición de máxima excitación de la membrana para decidir sobre el tono de la señal. Existe una zona de solapamiento, claramente delimitada en el rango de frecuencias medias –desde unos 200 Hz en adelante–, en la cual el cerebro dispone de dos tipos de información: por un lado información sobre descarga síncrona, y por otro información sobre la «posición»; en ambos datos basa sus medidas de frecuencia. Es interesante observar que somos mucho menos capaces de determinar con precisión el tono musical de una nota cuando su frecuencia está por encima del límite de descarga síncrona de 4 kHz.

La selectividad en frecuencia del oído ha sido comparada con un conjunto de filtros; este concepto se describe con más detalle en la Ficha Temática 2.1. Existe un efecto poco corriente por el cual el tono que percibimos de una nota tiene relación con el nivel sonoro, de tal forma que el tono se desplaza ligeramente cuando aquel aumenta. Esto se aprecia a veces cuando decae un sonido fuerte o cuando nos quitamos unos auriculares, por ejemplo. El efecto de los «batidos» también puede apreciarse cuando hacemos sonar al mismo tiempo dos tonos puros de frecuencias muy parecidas, resultando en este caso una serie de sumas y cancelaciones según estén entre sí en fase o en contrafase. La denominada «frecuencia de batido» es la frecuencia diferencia entre las dos señales, de manera que con una señal de 200 Hz y una de 201 Hz, por ejemplo, resultaría un modulación cíclica del nivel general, o batido, de 1 Hz. Combinando señales algo más separadas en frecuencia se produce una «aspereza» que desaparece una vez que las frecuencias de las dos señales difieren entre sí por encima de una cierta banda crítica.

FICHA TEMÁTICA 2.1 Ancho de banda crítico

La membrana basilar actúa como un analizador mecánico de espectros, facilitando un análisis espectral grosso modo del sonido captado. Su precisión se sitúa entre 1/5 y 1/3 de octava en el rango de frecuencias medias (dependiendo de los datos de análisis que se acepten). Actúa como un conjunto de filtros solapados, cada uno de ellos con un ancho de banda fijo. Esta precisión en el análisis se conoce como ancho de banda crítico o rango de frecuencias que pasa por cada uno de los supuestos filtros.

El concepto de banda crítica es importante para comprender el fenómeno de la audición, puesto que ayuda a explicar por qué algunas señales resultan «enmascaradas» en presencia de otras (ver Ficha Temática 2.3). Fletcher, en los años 40, sugirió que sólo las señales que están situadas dentro de la misma banda crítica que la señal deseada, serían capaces de enmascararla, si bien otros trabajos sobre el efecto enmascaramiento parecen sugerir que una señal puede causar este efecto sobre frecuencias que estén muy por encima de la suya propia.

Con señales complejas, como el ruido o la voz, por ejemplo, la sonoridad total de la señal depende en alguna medida del número de bandas críticas cubiertas por el sonido en cuestión. Puede demostrarse mediante un experimento simple que la sonoridad de una señal de potencia constante no comienza a incrementarse hasta que su ancho de banda se extiende más allá del correspondiente ancho de banda crítico, lo que parece confirmar la anterior afirmación. (Una demostración interesante de este fenómeno puede encontrarse en el Disco Compacto titulado Auditory Demostrations, que se cita al final de este capítulo.)

Aunque el concepto de banda crítica ayude a explicar el primer nivel del análisis de frecuencia que tiene lugar en el mecanismo de la audición, no es importante para la buena selectividad de frecuencias del oído, que alcanza una precisión muy superior al tercio de octava. El oído humano es capaz de percibir cambios de tono de tan sólo unos pocos hercios. Para comprender el comportamiento del cerebro en este aspecto, se remite al lector al texto de B.C.J. Moore (1989), citado al final de éste capítulo.

2.3 Percepción de la sonoridad

La cantidad subjetiva de «sonoridad» no está directamente relacionada con el SPL de un sonido (ver sección 1.11). El oído no es uniformemente sensible a todas las frecuencias; por ello, se ha ideado un conjunto de curvas que representan las llamadas líneas isofónicas de audición (ver Ficha Temática 2.2). Esto se debe en parte a las resonancias del oído externo, que presenta un pico en la región de frecuencias medias, incrementando de esta manera el SPL real que sufre el tímpano en esta banda.

La unidad de nivel sonoro es el fon, o fonio. Si un sonido está en el umbral de audición (apenas perceptible) se dice que tiene un nivel sonoro de 0 fonios, mientras que si está en el umbral de dolor tendrá probablemente un nivel sonoro de unos 140 fonios. Así pues, el oído tiene un margen dinámico de, aproximadamente, 140 fonios, lo que representa un margen de presiones sonoras con una relación de alrededor de 10 millones a uno, entre el sonido más fuerte y el más débil de los que pueden percibirse. Según se explicó en la Ficha Temática 1.4, para medir niveles sonoros se utiliza a menudo la curva de ponderación «A», puesto que toma la forma del espectro de la señal con el fin de representar lo más fielmente posible la sonoridad de señales de bajo nivel. El nivel de ruido expresado en dB es muy similar al nivel sonoro en fonios.

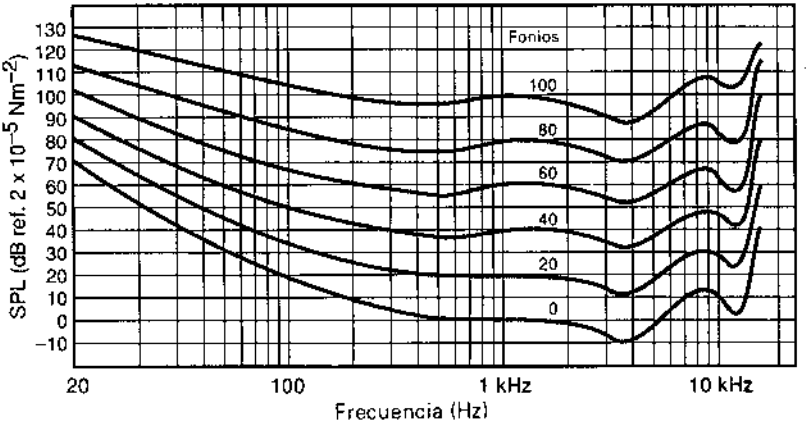
Para dar una idea de los niveles sonoros de algunos sonidos corrientes, podemos citar que el ruido de fondo de un estudio de grabación debería situarse alrededor de 20 fonios, una conversación en voz baja puede rondar los 50 fonios, una oficina con bastante actividad unos 70 fonios,

FICHA TEMÁTICA **2.2**

Curvas isofónicas

Fletcher y Munson idearon un conjunto de curvas para representar la sensibilidad del oído a diferentes frecuencias para todo el margen audible. Sacaron sus conclusiones a partir de una serie de experimentos con un gran número de personas a las que se les pedía que ajustaran el nivel de los diferentes tonos de prueba hasta que tuvieran la sensación de haber igualado en sonoridad a un tono de referencia de frecuencia 1 kHz. Los tonos de prueba estaban repartidos a lo largo de todo el espectro audible. A partir de estos resultados pudieron dibujarse curvas con el promedio de «igual sonoridad», que indican para cada frecuencia el SPL necesario para que un sonido se perciba con un determinado nivel sonoro (ver figura). El nivel sonoro se mide en fonios, siendo la curva de cero fonios aquella que pasa por 0 dB de SPL para 1 kHz; en otras palabras, esta es la curva de umbral de audición. Cualquier punto a lo largo de la curva de 0 fonios, tendrá el mismo nivel sonoro, si bien, como puede verse claramente, en los extremos del espectro se requiere un SPL mayor que en el centro. Las llamadas curvas Fletcher-Munson, no son las únicas curvas isofónicas que existen: Robinson y Dadson, entre otros, han publicado curvas corregidas basadas en diferentes datos experimentales. La forma de las curvas depende en gran medida del tipo de sonido utilizado en las pruebas, puesto que un ruido filtrado produce resultados ligeramente diferentes a los de tonos senoidales.

Como podrá apreciarse, las curvas de nivel alto son más planas que las de nivel bajo, lo que indica que la respuesta en frecuencia del oído varía con el nivel de la señal. Esto tiene importancia cuando se analizan los niveles de escucha en una grabación de sonido (ver texto).



una conversación a gritos alrededor de los 90 fonios y una orquesta sinfónica completa tocando un pasaje fuerte puede llegar a los 120 fonios. Estas cifras dependen, obviamente, de la distancia a la fuente sonora, pero pueden servirnos como orientación.

El nivel sonoro depende en gran medida de la naturaleza del sonido. Los sonidos de banda ancha tienden a parecer más fuertes que los de banda estrecha, puesto que cubren más bandas críticas (ver Ficha Temática 2.1). Por otro lado, los sonidos distorsionados parecen, psicológicamente, ser más fuertes que los que no tienen distorsión, debido quizás a que se asocia distorsión con sobrecarga del sistema. Si se reproducen dos señales musicales con niveles idénticos, una de ellas con bastante distorsión y la otra sin ella, el oyente asegurará que la primera suena más fuerte.

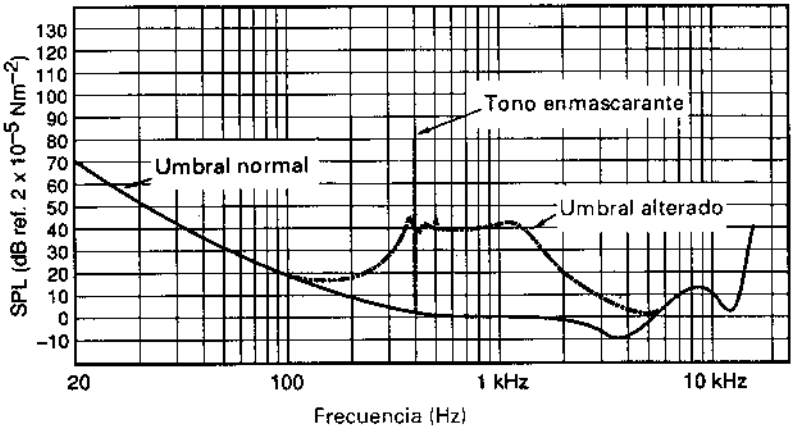
Otro factor importante es que, para una determinada frecuencia, el umbral de audición se incrementa en presencia de otro sonido de frecuencia similar. En otras palabras, un sonido puede «enmascarar» a otro. Este principio se describe con más detalle en la Ficha Temática 2.3.

Para dar la sensación de que se dobla el nivel sonoro que se percibe de una señal se necesita un incremento de 9 ó 10 dB. Aunque 6 dB equivalen a multiplicar por 2 la presión sonora real, el mecanismo de la audición parece necesitar un incremento superior en la señal para crear la sensación de que se ha doblado el volumen. Otra unidad subjetiva, poco usada en la práctica, es el sonio: un sonio equivale a 40 fonios; dos sonios tienen el doble de sonoridad que un sonio, lo que equivale aproximadamente a 49 fonios; tres sonios tienen el triple de sonoridad, etc. Así pues, el sonio da una indicación verdadera del nivel de sonoridad de una señal en una escala lineal. Los valores en sonios pueden sumarse entre sí para obtener la sonoridad total, expresada también en sonios.

FICHA TEMÁTICA 2.3 Enmascaramiento

La mayoría de la gente ha experimentado el fenómeno del enmascaramiento aunque a menudo se considera tan obvio que no necesita mencionarse. Por ejemplo: debes alzar la voz para que alguien te oiga cuando estás en un entorno ruidoso. El ruido de fondo ha elevado el umbral de percepción de tal forma que, para poder oír un determinado sonido, éste debe ser ahora más fuerte. Si observamos el efecto enmascaramiento de un tono puro podremos ver que aumenta considerablemente el umbral de audición para aquellas frecuencias iguales o superiores a la del propio tono (ver figura). Las frecuencias por debajo del tono enmascarante se ven menos afectadas. El margen de frecuencias enmascaradas por un tono depende fundamentalmente de la zona de la membrana basilar puesta en movimiento por dicho tono. El patrón de movimiento de esta membrana se extiende más hacia el extremo de altas frecuencias (AF) que hacia frecuencias bajas (BF). Si una determinada señal produce más movimiento de la membrana que el tono enmascarante en ese punto, entonces podrá percibirse dicha señal.

El fenómeno del enmascaramiento tiene muchas aplicaciones prácticas en ingeniería de audio. Se utiliza a menudo en sistemas de reducción de ruido, puesto que permite al diseñador asumir que el ruido de bajo nivel presente en la misma banda de frecuencias que una señal musical de nivel alto se verá completamente enmascarado por ésta. Se emplea también este efecto en sistemas de compresión de datos de audio digital, ya que permite al diseñador aplicar una resolución menor en algunas bandas de frecuencia, en las que el ruido quedará enmascarado por la señal deseada.



El oído no es en modo alguno un transductor perfecto. De hecho, introduce importantes distorsiones en las señales sonoras debido a su falta de linealidad. Para niveles altos de señal, especialmente en sonidos de baja frecuencia, la cantidad de distorsión armónica y de intermodulación (ver Apéndice 1) causada por el oído puede ser elevada.

2.4 Aplicaciones prácticas de las curvas isofónicas

La respuesta alineal en frecuencia del oído supone una serie de problemas para el ingeniero de sonido. En primer lugar, el balance de frecuencias percibido a partir de un determinado pasaje grabado dependerá del volumen con que dicho pasaje se reproduzca. Así, una mezcla hecha en el estudio de grabación a un determinado nivel puede sonar de manera diferente cuando se escucha en casa con un nivel distinto. En la práctica si se escucha una grabación a un nivel mucho más bajo del que tenía en otro momento, cuando se operaba con él, sonará con falta de graves y demasiado agudo; será un sonido «fino» y «falto de calor». Por contra, si reescuchamos una señal a un nivel más alto del que tenía el monitorado durante la grabación notaremos una mejor respuesta en graves y en agudos, el sonido «retumbará» y tendrá exceso de «brillo».

Los amplificadores de alta fidelidad «hi-fi» tienen normalmente una función «loudness» para poder realzar las frecuencias altas y bajas cuando la escucha se hace a nivel bajo; cuando los niveles son más altos esta función debería desconectarse. La música «Rock-and-roll» y «heavy-metal» suena a menudo con falta de graves cuando se reproduce a un nivel moderado. Esto se debe a que en el estudio de grabación suele hacerse la mezcla trabajando con monitores a mucho volumen.

Determinados tipos de ruido sonarán más altos que otros. En concreto el «soplo» da la impresión de ser normalmente el más fuerte, debido a su considerable contenido de energía en frecuencias medias y altas. Los zumbidos graves pueden ser menos molestos, puesto que el oído es menos sensible a las bajas frecuencias. Un ruido de baja frecuencia provoca grandes desviaciones en los medidores de nivel, sin embargo, puede no sonar tan fuerte en la realidad. Esto no significa, por supuesto, que estos ruidos deban ser aceptados sin más.

Las grabaciones que son ecualizadas para reforzar el contenido de frecuencias medias suenan a menudo «chillonas» y los oyentes pueden quejarse de fatiga de escucha, puesto que el oído es particularmente sensible en la banda entre 1 y 5 kHz.

2.5 Percepción direccional

Los principios de audición direccional adquieren importancia cuando se consideran cuestiones como la reproducción del sonido en estéreo y cuando se diseñan sistemas de megafonía (PA) para grandes auditorios, puesto que en ambos casos el objetivo es dar la ilusión de que el sonido proviene de una determinada dirección.

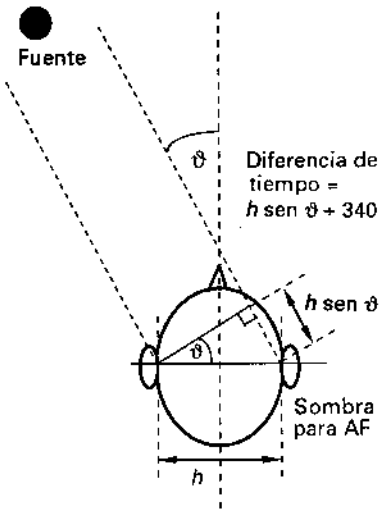
La percepción direccional puede dividirse, a grandes rasgos, en tres planos: el plano lateral de izquierda a derecha, el plano delante/detrás o plano «mediano», y el plano vertical. La distinción delante/detrás tiene una mayor importancia cuando se consideran técnicas microfónicas cuyo objetivo es ofrecer algún grado de información sobre sonido «envolvente» «surround-sound»). Si además se pretende una reconstrucción completa del campo sonoro original, es necesario añadir una distinción en el plano vertical, como en el caso de una reproducción «perifónica» total, que puede lograrse mediante el sistema conocido como «Ambisonics».

Al hablar de la percepción direccional se menciona a menudo la diferencia de fase entre los dos oídos, cuando lo que realmente importa es la diferencia en los tiempos de llegada del

FICHA TEMÁTICA **2.4**

Localización de una fuente lateral

El cerebro se basa en las diferencias entre las señales que le llegan de ambos oídos para detectar la posición de una fuente en el plano lateral. Estas diferencias pueden resumirse como sigue (ver figura):



Nivel
Si la fuente está próxima a la cabeza, la distancia extra que recorre la onda sonora para llegar al oído más alejado conllevará una ligera caída en el nivel, debido a la atenuación según la ley cuadrática inversa (ver Ficha Temática 1.3). Para fuentes alejadas esta distancia adicional es despreciable frente a la distancia total que debe recorrer la onda; la caída de nivel puede considerarse también insignificante.

Respuesta en frecuencia
El oído más distante queda «ensombrecido» por la cabeza siendo este efecto más importante para frecuencias medias/altas, donde la longitud de onda del sonido es similar o menor que las dimensiones de la cabeza. Como resultado de este ensombrecimiento, el oído más alejado sufrirá una modificación en su respuesta en frecuencia, trayendo consigo una atenuación del contenido de alta frecuencia (AF) de la señal. La atenuación de AF aumenta a medida que se incrementa el ángulo de la fuente sonora con respecto al frente. El máximo de atenuación se logra para un ángulo ϑ de 90°.
El oído externo modifica también la respuesta en frecuencia de las señales que llegan desde diferentes ángulos. Esto es el resultado de la forma irregular de la oreja y de sus propiedades resonantes.

Tiempo
Debido a la separación entre oídos, las fuentes sonoras descentradas llegarán con retraso al oído más distante. El retardo máximo tiene lugar a los 90° del frente, donde la diferencia en tiempo en ambos oídos es, aproximadamente, 600 microsegundos (0'6 ms). El retardo está relacionado con el seno del ángulo de desviación a partir del frente. El cerebro es capaz de medir la diferencia en el tiempo de llegada de una descarga neuronal procedente de ambos oídos, y utilizar esta diferencia para determinar la posición de la fuente.

Fase
Si la fuente está emitiendo una onda periódica continua, entonces es posible considerar la diferencia de tiempo entre los oídos como una diferencia de fase. Por encima de la frecuencia para la cual la distancia entre oídos equivale a la mitad de la longitud de onda la indicación de la fase se vuelve ambigua, puesto que resulta difícil para el cerebro determinar qué oído esta retrasado y cuál adelantado. La duda surge de lo siguiente: ¿está el oído izquierdo adelantado 330° con respecto al derecho, o está retrasado 30°? Además, hablar en términos de fase resulta confuso, puesto que la diferencia de fase depende de la frecuencia de la señal. Para una posición fija de la fuente el ángulo de fase entre las señales de los dos oídos diferirá para cada frecuencia. Análogamente, si la frecuencia permanece constante pero se mueve la fuente, el ángulo de fase también variará.

sonido. Cuando se estudian los mecanismos de audición conviene normalmente utilizar tonos puros como ejemplos de fuente de señal. Debe, sin embargo, recordarse que raramente se oyen tonos puros en la vida real, puesto que los sonidos reales son generalmente de naturaleza más compleja, similar a la del ruido.

La capacidad que tenemos de percibir sonidos direccionales se debe casi por completo al hecho de estar implicados dos oídos, si bien existen muchos efectos secundarios que podrían ser percibidos aunque solo interviniera un oído. La localización lateral de la dirección se basa, principalmente, en la amplitud del sonido y en las diferencias entre los tiempos de llegada a los dos oídos. En la Ficha Temática 2.4 se analizan con detalle estos factores.

En principio resulta difícil ver qué es lo que hace que se pueda distinguir a una fuente puntual, descentrada unos cuantos grados delante de la cabeza, de la misma fuente situada con el mismo ángulo, pero detrás de la cabeza; está claro que la diferencia en los tiempos de llegada será la misma y, por extensión, también será igual el efecto sombra que produce la cabeza. Aún así, es evidente que la libertad de movimiento de la cabeza juega un papel importante en la localización en este plano. Esto se ha comprobado en diferentes pruebas subjetivas en las que personas cuyas cabezas habían sido completamente inmovilizadas, mostraban mayores dificultades para distinguir delante/detrás. La razón de esto es que, incluso un pequeño cambio en el ángulo de rotación de la cabeza altera la diferencia en los tiempos de llegada a ambos oídos, y para una determinada dirección de rotación, esta diferencia será más grande o más pequeña dependiendo de si la fuente está delante o detrás de la cabeza.

Otro factor a tener en cuenta es el papel que juega la vista en esta distinción, puesto que los ojos se utilizan mucho para determinar la localización de una fuente situada enfrente, mientras que si la fuente está detrás, en esa tarea sólo intervienen los oídos. Si una fuente no puede verse es porque debe estar detrás (por el momento ignoramos la componente vertical). No obstante, no debe exagerarse este aspecto puesto que es posible localizar delante/detrás incluso con los ojos cerrados, si bien ha podido demostrarse que las personas ciegas tienen una mejor localización aural hacia el frente que las personas que no son ciegas.

Finalmente, otro factor a considerar es el efecto de la oreja y la cabeza sobre los sonidos que proceden de la parte trasera, debido a que el tamaño de la oreja es tal que actúa como una barrera parcial para sonidos de muy alta frecuencia procedentes de la espalda; al mismo tiempo modifica el énfasis espectral de un sonido trasero, comparado con el mismo sonido situado en el frente. Además, la función de transferencia con respecto a la cabeza difiere ligeramente dependiendo de si el sonido es frontal o posterior (debido al efecto de interferencia que produce la cabeza resulta evidente que cuando los sonidos alcanzan ambos oídos sufren distorsión de fase y amplitud).

La localización en el plano vertical tiene que ver en parte con el efecto de las reflexiones en el suelo y en los hombros, así como con los efectos de las orejas y de la función de transferencia con respecto a la cabeza. Esto es debido a que los sonidos localizados a diferentes ángulos de elevación llegarán a los oídos por vía directa y por reflexión, sufriendo en este último caso un ligero retardo. Para los sonidos procedentes de arriba la diferencia entre los caminos recorridos por el sonido reflejado en los hombros y en el suelo, comparado con la vía directa, dará como resultado cancelaciones y sumas a distintas frecuencias (de forma análoga a como se mencionó anteriormente con respecto a las reflexiones en la oreja, si bien las reflexiones en los hombros y suelo producirán picos y nulos que están más espaciados y se extienden hacia las frecuencias más bajas, debido a las distancias que ahora intervienen). Comparando estos espectros de frecuencia con modelos que tiene almacenados, el cerebro logra localizar -en parte- los sonidos situados en el plano vertical. La memoria de situaciones aprendidas, así como la expectación de que determinados sonidos deben provenir de direcciones concretas, son aspectos importantes en la localización en el plano vertical, puesto que, por regla general, no hay muchos sonidos que surjan de «abajo».

2.6 El efecto Haas

Hasta ahora sólo hemos considerado el caso de una fuente puntual, resultando retardos de hasta 0'6 ms entre ambos oídos (el denominado «retardo binaural»), pero también es necesario considerar situaciones en las que existen más de una fuente, puesto que esto es una de las claves para comprender la reproducción del sonido estéreo. Haas y otros autores, estudiando el efecto que producen los ecos a la hora de percibir la dirección de una fuente, demostraron que si dos fuentes emiten sonidos similares, la dirección que se percibe del sonido tiende hacia la fuente más adelantada (en tiempo). Establecieron también que los retardos sobre los que se observa el fenómeno llegan hasta los 50 ms; un retardo mucho mayor que el relacionado con el efecto binaural. Para retardos de hasta 50 ms los sonidos de las dos fuentes se «funden» en el cerebro, apareciendo como una única fuente que se sitúa aparentemente desplazada hacia la que llega antes. Por encima de 50 ms el cerebro comienza a percibir los sonidos de forma separada y el segundo de ellos aparece como un «eco» del primero. En el caso de chasquidos aislados el efecto desaparece más rápidamente que con sonidos complejos, permitiendo retardos de tan sólo unos 5 ms antes de que el efecto del «fundido» desaparezca.

La denominada «curva de efecto Haas» (ver figura 2.4) muestra que para que el sonido retardado aparente tener la misma sonoridad que el no retardado, aquel debe superar a éste en unos cuantos decibelios en amplitud, con el fin de compensar la ventaja que supone haber llegado el primero. El efecto máximo tiene lugar para un retardo de, aproximadamente, 15 ms; en ese valor la fuente retrasada debe ser 11 dB más sonora que la precedente para que ambas puedan percibirse con el mismo nivel sonoro. Podemos, por tanto, intuir que es posible comparar diferencia de amplitud con diferencia de tiempo para conseguir el mismo efecto direccional.

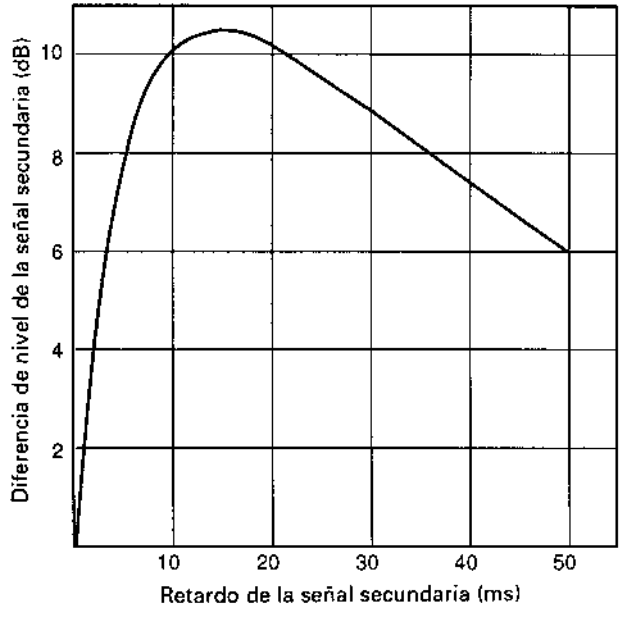


Figura 2.4 El efecto Haas, o efecto del sonido precedente, describe cómo una fuente secundaria retardada debe ser más sonora que la fuente primaria, para dar la sensación de tener el mismo nivel sonoro

2.7 Reproducción de un sonido estereofónico

El objetivo de la reproducción del sonido estereofónico es dar la sensación de direccionalidad y espacio en el sonido emitido por dos o más altavoces o auriculares. En la sección 4.7 se tratarán los micrófonos estéreo pero podemos avanzar aquí algunos principios básicos.

En primer lugar, la sensación de direccionalidad en la reproducción de un sonido puede lograrse utilizando una combinación de diferencias de tiempo y de nivel entre dos canales. Debido al efecto Haas, descrito anteriormente, si la señal procedente del altavoz derecho se retrasa ligeramente con respecto a la del altavoz izquierdo, se tendrá la sensación de que el sonido proviene de algún lugar desplazado hacia la izquierda, dependiendo de la magnitud del retardo. En función del tipo de señal, aparecerá completamente a la izquierda si el retardo se sitúa entre 2 y 4 ms, aproximadamente. Las técnicas de micrófonos separados trabajan con este principio.

Si entre los dos altavoces se introduce una diferencia de nivel, dará la sensación que el sonido está desplazado hacia el altavoz más sonoro, llegando a parecer completamente a la izquierda o a la derecha si la diferencia de nivel alcanza los 18 dB, aproximadamente. En este principio se basan las técnicas de micrófonos coincidentes y el estéreo a base de potenciómetros panorámicos «pan-pot». La sensación de estéreo puede lograrse utilizando una

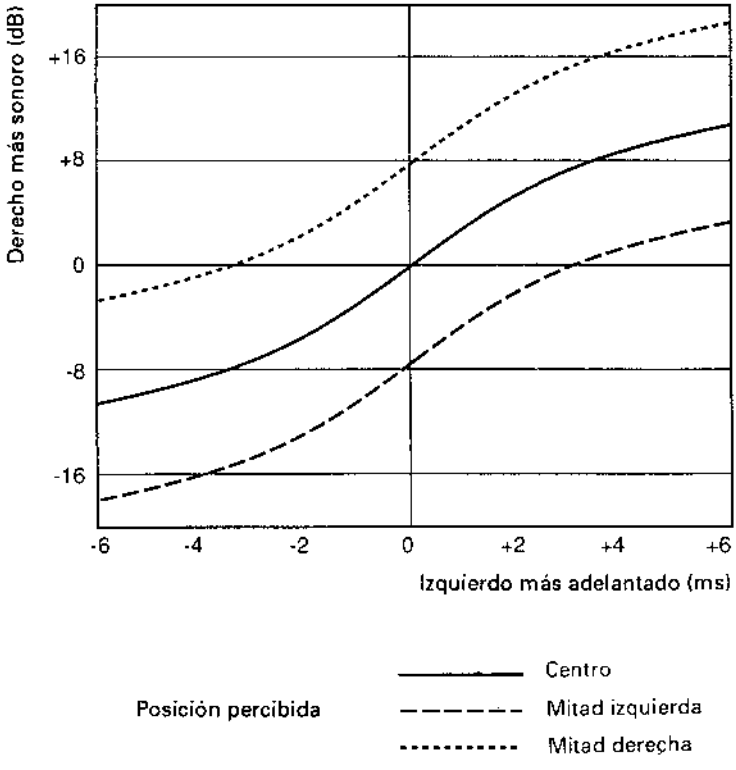


Figura 2.5 La gráfica muestra la forma de conjugar en una única representación las diferencias de nivel y de tiempo entre los canales izquierdo y derecho de un sonido estéreo. Indica la forma en que se percibe una fuente en una determinada posición sobre un «escenario sonoro».

combinación de diferencias de nivel y diferencias de tiempo. La figura 2.5 representa la combinación aproximada entre ambas para que un sonido parezca estar en una determinada posición.

Mediante las técnicas de micrófonos binaurales se pretende captar toda la colección de matices que surgen dentro de una percepción basada en dos oídos, según se explicó en la Ficha Temática 2.4. Para ello se utilizan pequeños micrófonos de presión colocados en las entradas de los canales auditivos de la cabeza de un maniquí (o de otro tipo). Cuando la escucha se realiza por medio de auriculares, estas técnicas pueden ser capaces de reproducir imágenes muy fieles, junto con la impresión de situar al observador directamente dentro del campo sonoro original. La mayoría de estas técnicas ofrecen buenos resultados cuando la cabeza y los oídos utilizados para realizar la grabación son lo más parecidos posible a las propias características del observador. Sin embargo, las limitaciones de los auriculares pueden modificar una situación aparentemente óptima, resultando a menudo reproducciones de baja calidad.

Lecturas recomendadas

Blauert,J (1983) *Spatial Hearing.*Traducido por J. S. Allen. MIT Press.
Eargle, J. (1986) ed. *Stereophonic Techniques - An Anthology.* Audio Engineering Society.
Moore, B. C. J. (1989) *An Introduction to the Psychology of Hearing.* Academic Press.
Tobias, J. (1970) ed. *Foundations of Modern Auditory Theory.* Academic Press.

Escuchas recomendadas

Auditory Demonstrations (Compact Disc). Philips Cat. No. 1126-061. Disponible en Acoustical Society of America.

La cadena de señal de audio

Las señales sonoras nacen en forma de vibraciones que viajan a través del aire, y es en este medio donde mueren después de haber atravesado todas las etapas del proceso de grabación y reproducción. En radiodifusión la señal no sólo se graba y se reproduce, sino que también se transmite por medio de ondas de radio. En este capítulo se hará un recorrido por las diferentes etapas implicadas en una cadena de grabación y radiodifusión; en posteriores capítulos se examinarán más detalladamente los aspectos técnicos y de operación relacionados con los sistemas de audio. Se incluye también aquí una primera aproximación a las diferencias de nivel que pueden encontrarse en los distintos pasos de la cadena de señal. En sucesivos capítulos se abordarán más detenidamente aspectos tales como alineación de equipos y medida de niveles de señal.

3.1 Un poco de historia

3.1.1 Los primeros grabadores

Las primeras máquinas de grabación, que Edison y Berliner diseñaron allá por los últimos años del siglo XIX, tenían poca o ninguna relación con aparatos eléctricos. A decir verdad, el proceso de grabación y reproducción era, en sí mismo, completamente mecánico o «acústico». Se trataba de un sistema que utilizaba una pequeña bocina terminada en un diafragma flexible y alargado. Este, a su vez, estaba unido a una aguja capaz de trazar un surco de profundidad variable sobre una lámina de hojalata maleable –en el caso del cilindro del «fonógrafo» de Edison– o capaz de producir desviación lateral variable sobre un disco de cera –en el caso del «gramófono» de Berliner– (ver figura 3.1). Durante la reproducción las ondulaciones del surco hacían vibrar la aguja y el diafragma, provocando que el aire dentro de la bocina se moviera en simpatía creando sonidos. El margen de frecuencias era muy limitado y el sonido tenía excesiva distorsión.

Los cilindros del fonógrafo podían grabarse por el usuario, pero resultaba difícil la duplicación para grandes tiradas. Por su parte, los discos del gramófono únicamente podían reproducirse, sin embargo resultaba sencilla la duplicación a gran escala. Por esta razón los discos ganaron con bastante rapidez la batalla como soporte de música pregrabada para consumo masivo. En esa época no existía la cinta magnética, por lo que las grabaciones se hacían directamente sobre un disco *master* ajustado a la duración de la cara del disco definitivo –unos 4 minutos como máximo– y sin ninguna posibilidad de edición. Las grabaciones que contenían algún error solo admitían dos posibilidades: rehacerlas o darlas por buenas, conservando intactos los errores. Una pieza musical larga debía grabarse en pequeñas secciones, con la consiguiente pérdida de información al cambiar el disco, y con bastantes probabilidades de que existieran discontinuidades entre las diferentes tomas; tampoco era de extrañar que hubiese variaciones

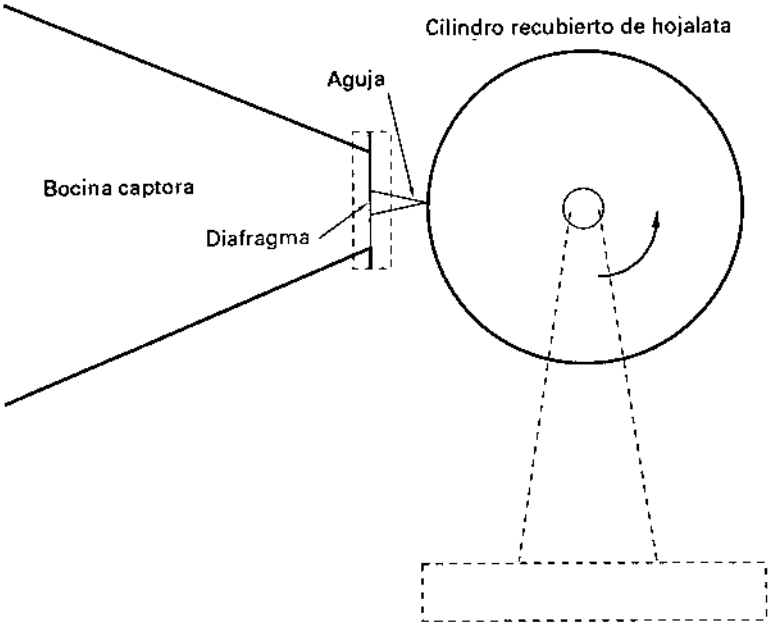


Figura 3.1 El primer fonógrafo empleaba un cilindro rotatorio cubierto de hojalata y una aguja unida a un diafragma flexible. El locutor o cantante actuaba próximo a la bocina, haciendo vibrar la aguja y dejando grabado un surco en la superficie de la fina lámina de hojalata. En la reproducción, las rugosidades del surco hacen que vibren la aguja y el diafragma, resultando una onda sonora que se emite desde la bocina.

en el tono y en el *tempo*. Como consecuencia de las deficiencias en el proceso de grabación acústica, los instrumentos debían ser agrupados muy próximos entre sí alrededor de una bocina captora, único transductor capaz de recoger sonidos. A menudo debían sustituirse los instrumentos más sonoros por otros menos sonoros (el contrabajo se reemplazaba por la tuba, por ejemplo) para tratar de corregir el pobre balance de frecuencias. Quizás sea ésta la razón por la que la mayor parte de la música grabada en esa época estaba hecha por solistas vocales y pequeños conjuntos, puesto que resultaban más fáciles de grabar que las grandes orquestas.

3.1.2 Grabación eléctrica

Durante la década de los veinte, cuando la radiodifusión estaba aún dando sus primeros pasos, la grabación eléctrica comenzó a ser ampliamente utilizada. Los principios de transducción electromagnética, en los que se basa esta técnica de grabación, se recogen en la Ficha Temática 3.1. La posibilidad de que un micrófono pudiera conectarse mediante una unión remota a un grabador resultaba muy interesante, pues significaba que aquellos podrían emplazarse en lugares más apropiados (próximos a la fuente sonora) y unirse, por medio de cables, a un transductor complementario, el cual, a su vez, actuaría sobre la aguja para cortar el disco. Más útil aún sería poder mezclar las salidas de los micrófonos antes de enviarlas como una única señal hacia el cortador de disco; esto permitiría una mayor flexibilidad a la hora de «equilibrar» la mezcla. Para poder controlar el nivel de cada micrófono bastaría con insertar en la cadena de señal resistencias variables. Finalmente, con ayuda de amplificadores de válvula se lograría incrementar el nivel eléctrico para que fuera capaz de gobernar la aguja grabadora (ver figura 3.2).

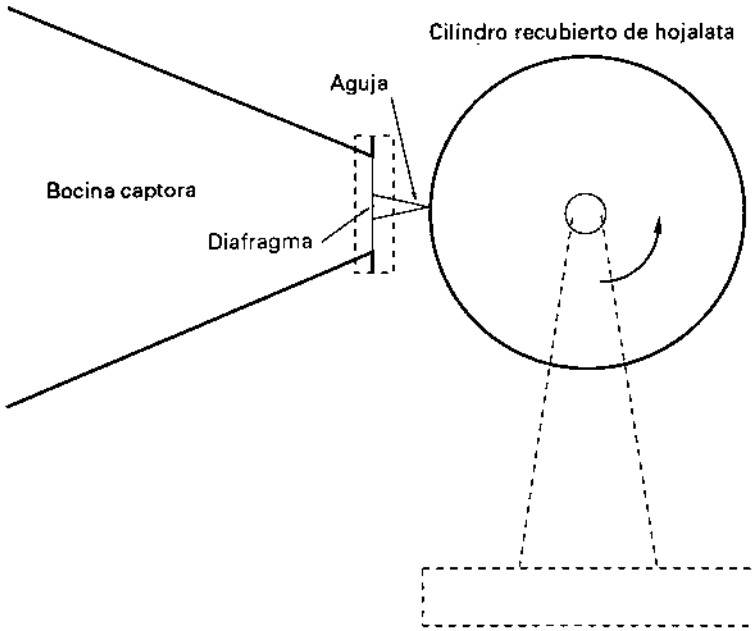


Figura 3.1 El primer fonógrafo empleaba un cilindro rotatorio cubierto de hojalata y una aguja unida a un diafragma flexible. El locutor o cantante actuaba próximo a la bocina, haciendo vibrar la aguja y dejando grabado un surco en la superficie de la fina lámina de hojalata. En la reproducción, las rugosidades del surco hacen que vibren la aguja y el diafragma, resultando una onda sonora que se emite desde la bocina.

en el tono y en el *tempo*. Como consecuencia de las deficiencias en el proceso de grabación acústica, los instrumentos debían ser agrupados muy próximos entre sí alrededor de una bocina captora, único transductor capaz de recoger sonidos. A menudo debían sustituirse los instrumentos más sonoros por otros menos sonoros (el contrabajo se reemplazaba por la tuba, por ejemplo) para tratar de corregir el pobre balance de frecuencias. Quizás sea ésta la razón por la que la mayor parte de la música grabada en esa época estaba hecha por solistas vocales y pequeños conjuntos, puesto que resultaban más fáciles de grabar que las grandes orquestas.

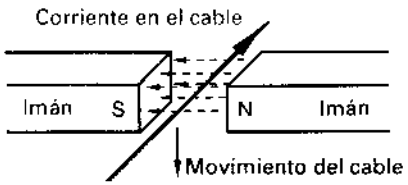
3.1.2 Grabación eléctrica

Durante la década de los veinte, cuando la radiodifusión estaba aún dando sus primeros pasos, la grabación eléctrica comenzó a ser ampliamente utilizada. Los principios de transducción electromagnética, en los que se basa esta técnica de grabación, se recogen en la Ficha Temática 3.1. La posibilidad de que un micrófono pudiera conectarse mediante una unión remota a un grabador resultaba muy interesante, pues significaba que aquellos podrían emplazarse en lugares más apropiados (próximos a la fuente sonora) y unirse, por medio de cables, a un transductor complementario, el cual, a su vez, actuaría sobre la aguja para cortar el disco. Más útil aún sería poder mezclar las salidas de los micrófonos antes de enviarlas como una única señal hacia el cortador de disco; esto permitiría una mayor flexibilidad a la hora de «equilibrar» la mezcla. Para poder controlar el nivel de cada micrófono bastaría con insertar en la cadena de señal resistencias variables. Finalmente, con ayuda de amplificadores de válvula se lograría incrementar el nivel eléctrico para que fuera capaz de gobernar la aguja grabadora (ver figura 3.2).

FICHA TEMÁTICA

3.1 Transductores electro-magnéticos

Los transductores electromagnéticos facilitan la conversión de señales acústicas en señales eléctricas, y actúan también de manera inversa, transformando señales eléctricas en ondas sonoras. El principio es muy simple: si hacemos que en el interior de un campo magnético pueda moverse un cable, orientado perpendicularmente a las líneas de flujo que unen los polos del imán (ver figura), se inducirá entonces en el cable una corriente eléctrica. La dirección del movimiento determina el sentido de la corriente inducida en el cable. Así pues, si podemos hacer que el cable se mueva hacia delante y hacia atrás, se inducirá en él una corriente alterna cuya frecuencia y amplitud están directamente relacionadas con el movimiento del cable. De manera inversa, si hacemos que circule una corriente eléctrica a través de un cable cuando éste corta las líneas de fuerza de un campo magnético, el cable se moverá. De aquí a entender cómo las señales acústicas pueden convertirse en señales eléctricas, y viceversa, hay sólo un paso. Un micrófono elemental de bobina móvil, como el que se representa en la Ficha Temática 4.1, incorpora un hilo conductor moviéndose en un campo magnético. El cable está arrollado en forma de bobina, unida a un diafragma flexible que vibra en simpatía con la onda sonora. La salida del micrófono es una corriente eléctrica alterna cuya frecuencia es la misma que la de la onda sonora que ocasionó la vibración del diafragma. La amplitud de la señal eléctrica generada depende de las características mecánicas del transductor, pero es proporcional a la *velocidad* con que se mueve la bobina.



Los sistemas vibrantes (como los transductores de diafragma), provistos de elasticidad (compliancia) y masa, tienen una *frecuencia de resonancia*, o sea, una frecuencia natural de vibración libre. Si la frecuencia de la fuerza motriz está por debajo de esta frecuencia de resonancia, el movimiento del sistema depende entonces prácticamente de su rigidez; a la frecuencia de resonancia el movimiento depende principalmente de su amortiguación (resistencia), y por encima de la frecuencia de resonancia está en función de la masa. La amortiguación se usa en los transductores de diafragma para controlar la amplitud del pico de respuesta en resonancia, y asegurar una respuesta más uniforme alrededor de esa frecuencia. Controlando la rigidez y la masa se puede asegurar una respuesta en frecuencia lo más plana posible en los márgenes de frecuencia que sea necesario.

Exactamente el proceso inverso tiene lugar en un altavoz, donde una corriente alterna alimenta a la bobina que está unida al diafragma y rodeada por un imán similar al mencionado anteriormente. En esta ocasión el diafragma se mueve en simpatía con la frecuencia y magnitud de la señal eléctrica de entrada, causando compresión y enrarecimiento del aire que le rodea.

La calidad sonora de las grabaciones eléctricas supuso una evidente mejora sobre las grabaciones acústicas, obteniendo un espectro de frecuencias más amplio y un mayor margen dinámico (ver Apéndice 1). Tanto en Europa como en EE.UU. se llevaron a cabo trabajos experimentales sobre grabación y reproducción en estéreo, pero no fue hasta mucho más tarde cuando el sonido estéreo ocupó su lugar como formato de consumo ampliamente extendido. Entre tanto, casi todas las grabaciones y transmisiones se realizaban en mono por aquel entonces.

3.1.3 Desarrollos posteriores

Durante la década de los años treinta se siguió trabajando en el desarrollo de equipos de grabación magnética, y comenzaron a aparecer ejemplos de grabadores experimentales de hilo y

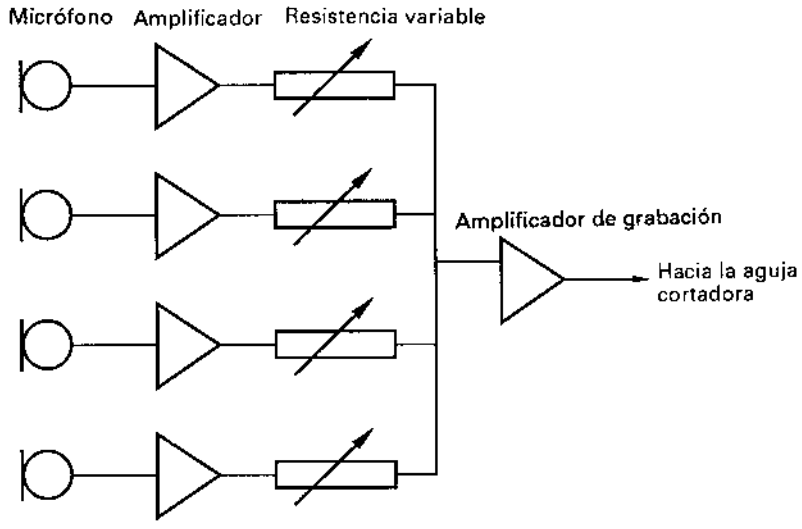


Figura 3.2 En las primeras grabaciones las señales eléctricas procedentes de los micrófonos se hacían pasar a través de resistencias variables con el fin de alterar su ganancia. A continuación se combinan entre sí y la señal suma se envía a la aguja cortadora para grabar en el disco.

de cinta. Estaban basados en el principio de utilizar una corriente circulando a través de una bobina para crear un campo magnético que, a su vez, magnetizaría un hilo metálico en movimiento o una cinta recubierta de material magnético. Los años cuarenta, durante la guerra, fueron testigos de la aparición de los primeros magnetófonos de cinta con polarización «bias» de CA (ver sección 8.2), que trajeron consigo una buena calidad de sonido y la posibilidad de editarlo. Las cintas, no obstante, se fabricaban en un principio de papel recubierto de óxido de metal, el cual tendía a deteriorarse con bastante rapidez. Más tarde el papel fue sustituido por plásticos, que demostraron ofrecer una mayor duración y mayor facilidad de manejo.

En la década de los 50 apareció el disco de larga duración (LP) de microsurco, con una notable reducción del ruido y una mejora en la respuesta en frecuencia; su capacidad estaba alrededor de los 25 minutos por cada cara. Este soporte era un medio ideal para la distribución comercial de grabaciones estéreo, las cuales empezaron a realizarse a finales de los cincuenta, aunque no fue hasta la década de los sesenta cuando el estéreo tuvo su asentamiento definitivo. A comienzos de esta década apareció el primer grabador multipista, siendo The Beatles quienes hicieron uso de uno de los primeros «cuatro pistas» para su disco *Sergeant Pepper´s Lonely Hearts Club Band*. La máquina ofrecía la flexibilidad, hasta ese momento sin precedentes, de grabar varias fuentes de manera separada. La mezcla estéreo final se consigue haciendo un balance tosco hacia los canales izquierdo y derecho en una especie de estéreo «ingenioso».

Los equipos de mezcla de los años 50 y 60, muchos de ellos con potenciómetros rotatorios, eran por lo general bastante elementales, comparados con las sofisticadas consolas actuales. Simplemente no existía la gran cantidad de pistas de las que se dispone hoy.

La reciente historia de la grabación ha sido testigo del nacimiento de la grabación digital de alta calidad (ver Capítulo 10) con formatos que permiten una buena distribución comercial y capaces de cubrir todo el margen de frecuencias de audio con niveles mínimos de distorsión. Este es el caso del Disco Compacto («Compact Disc», o CD) y de sistemas digitales de cinta destinados al mercado doméstico. Actualmente el sonido de radiodifusión tiene una alta calidad, ya sea por el uso de la FM o gracias a las transmisiones digitales de radio o tele-

visión. La grabación de estudio tiene la ventaja de poder contar, si es necesario, con un número casi ilimitado de pistas y de efectos.

3.2 La cadena de grabación actual

Hoy día en una grabación musical las señales sonoras tienen su origen tanto en forma de fuentes acústicas reales (por ejemplo: vocalistas, pianos, guitarras acústicas, etc.), como en forma de fuentes de señales eléctricas (sintetizadores, guitarras eléctricas, aparatos de percusión, ...). Este último tipo de señales se puede amplificar y reproducir a través de un altavoz, aunque también puede atacar directamente la entrada de un mezclador (ver Capítulo 6). Las fuentes acústicas serán captadas mediante micrófonos y se enviarán a las entradas de micrófono de un mezclador (éste tiene en su interior amplificadores que elevan el pequeño voltaje procedente de los micrófonos). Las fuentes de señales eléctricas tienen salidas con «nivel de línea» (ver sección 3.4) que pueden conectarse al mezclador sin necesidad de una amplificación adicional.

Ya en el mezclador, las distintas fuentes se combinan en proporciones controladas por el ingeniero de sonido, y se graban a continuación. Es en este punto donde se producen discrepancias entre las diferentes técnicas, puesto que las grabaciones de música «clásica» hacen uso de las técnicas de grabación directa, mientras que cuando se trata de música «pop» se emplea normalmente grabación multipista, haciendo mezcla separada en la cinta magnética y añadiendo efectos antes de obtener la matriz final.

3.2.1 Estéreo directo

La figura 3.3 muestra la cadena de señal típica con todos los pasos que tienen lugar en una producción grabada en forma de «estéreo directo», como es el caso de una grabación de música clásica para CD o para radiodifusión. Las señales procedentes de los micrófonos se mezclan «en directo», sin grabarlas en multipista, creando un «pre–master» estéreo, que puede ser analógico o digital, y que constituye una recopilación de grabaciones originales, formadas por una serie de tomas separadas. Es en este punto donde debe corregirse el equilibrio

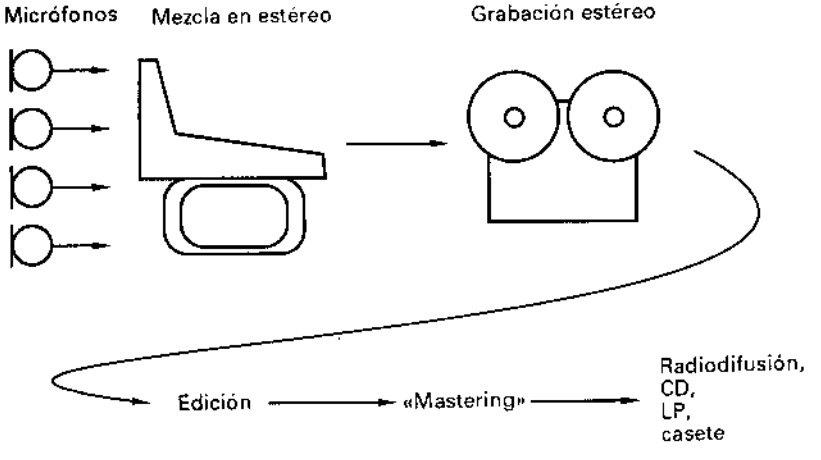


Figura 3.3 Esquema de un proceso de producción musical «estéreo directo».

entre las distintas fuentes, cada una de ellas correspondiente a un micrófono. Se procederá a continuación a editar las diferentes cintas «pre-master». Durante la edición se ensamblan con criterios artísticos las distintas tomas bajo la supervisión del productor, hasta crear un «master», o matriz final, que será lanzado comercialmente. Esta matriz final puede convertirse, a su vez, en un determinado número de matrices de producción, cada una de las cuales se empleará en la fabricación de un formato: léase discos de larga duración (LP), casetes o CD. Una matriz de LP, por ejemplo, precisa una ecualización especial antes de proceder al corte del disco, mientras que la matriz de casete se hace normalmente en un bucle sinfín de media pulgada para su duplicación a alta velocidad (ver sección 8.9.6). Las matrices digitales para CD necesitan, por su parte, que se añadan los «subcódigos PQ» para señalar los comienzos y los finales de cada pista, además de recoger otras informaciones adicionales. Todo este proceso del que estamos hablando se conoce como «mastering».

En el caso de las producciones «estéreo directo» la consola de mezcla puede ser menos sofisticada que la utilizada para grabación multipista, puesto que la misión de aquella es aceptar un determinado número de entradas y combinarlas para obtener una única salida estéreo; el proceso incluye también la ecualización. Este método de producción es a todas luces más barato y consume menos tiempo que la grabación multipista, pero necesita de una cierta pericia para lograr una buena mezcla en la toma de sonido. Así mismo, limita la flexibilidad en la producción. En algunas ocasiones, no obstante, la música clásica se graba en multipista, especialmente en el caso de óperas complejas o de grandes orquestas con coro y solistas, donde lograr una buena mezcla durante la función puede resultar complicado. En este caso el proceso de producción se asemeja a el de la grabación de música ligera que se describe a continuación.

3.2.2 Grabación multipista

La música «pop» se graba pocas veces en directo, con excepción de algunos conciertos; suele crearse en el estudio de grabación, donde se hace uso de toda una serie de herramientas y méto-

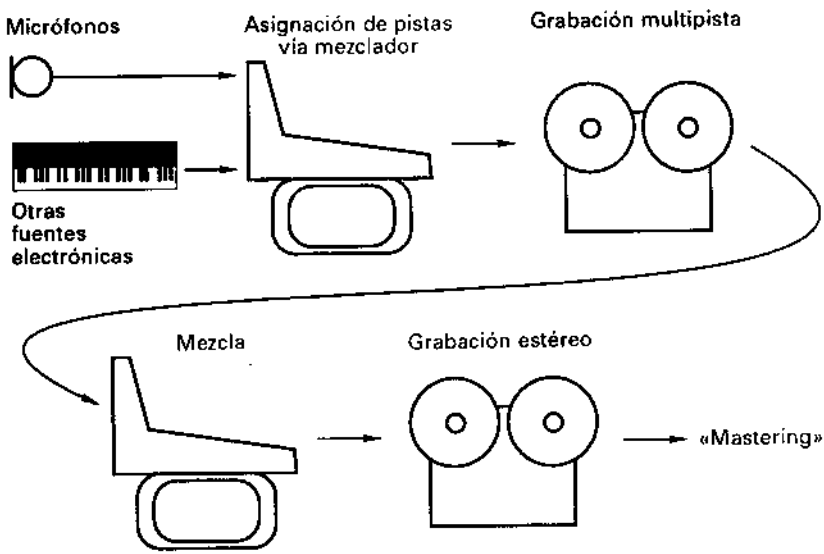


Figura 3.4 Esquema de un proceso de producción musical en multipista.

dos que facilitan la labor de producción. Tanto las fuentes acústicas como las eléctricas se envían a la entrada del mezclador y se graban en el multipista en grupos de varias pistas simultáneas, construyendo de forma gradual lo que podríamos llamar un *montaje* de sonidos (ver figura 3.4). La cinta que resulta de este proceso estará compuesta, por tanto, de una colección de fuentes individuales sobre diferentes pistas, que deberán ser mezcladas a continuación para obtener el formato final (normalmente estéreo). Las diferentes canciones o títulos se van grabando una tras otra en distintos puntos a lo largo de la cinta, para ser ordenadas más tarde.

Hoy en día, al contrario de lo que ocurre en música clásica, no es corriente grabar música «pop» en multipista mediante «tomas» aisladas para editarlas posteriormente, puesto que existen sistemas de mezcla automatizada que permiten al ingeniero de sonido trabajar por secciones sobre una canción, almacenar en memoria una serie de configuraciones de la mesa, y ejecutarlas después automáticamente de forma secuencial con ayuda de un ordenador (ver Capítulo 15). En cualquier caso, los multipistas incorporan funciones de inserción que permiten añadir durante la grabación pasajes cortos en cualquiera de las pistas, sin que se produzcan «clics» en la señal de audio. Para grabar un «master» de música pop se almacenan en primer lugar todos y cada uno de los instrumentos, grabándolos pista a pista (batería, teclados, guitarras rítmicas, etc.), después de lo cual se llevan a cabo distintos procesos de edición. A veces interesa editar una grabación multipista, con el fin de acaparar una cierta cantidad de pistas de reserva a partir de un determinado número de tomas; después de éstas se pueden añadir otras «capas». Hay quien ve en esta tarea un riesgo potencial de pérdida de información grabada.

Hoy en día se está extendiendo el uso de instrumentos electrónicos secuenciados por ordenador bajo control MIDI (ver Capítulo 15), que vienen a sumarse al proceso de grabación en multipista o en disco duro. El ordenador encargado del control de estos instrumentos está sincronizado con el grabador mediante un código de tiempo (ver Capítulo 16). Las salidas de los instrumentos se envían al mezclador para combinarlos con otras fuentes no secuenciadas. Las fuentes controladas por MIDI no se graban directamente en multipista. Lo que se hace es archivar en el ordenador la información sobre «qué notas han sonado y cuándo lo han hecho». Esta información debe sincronizarse con el multipista, pero sólo durante la mezcla posterior. Esto tiene el claro inconveniente de necesitar que todos los instrumentos que fueron utilizados en la sesión de grabación se utilicen de nuevo en la sala de control durante la mezcla. Tiene la ventaja de que se reduce el número de pistas necesarias y de que la mezcla se hace tomando las señales directamente de las fuentes MIDI, sin pasos intermedios. Esta técnica se utiliza más en pequeños estudios caseros y en grabaciones económicas que en producciones de mayor calibre. En este último caso el productor podrá llevar literalmente «la 'torta' bajo el brazo» y hacer la mezcla en cualquier otro estudio, con la seguridad de que todo el material que va a necesitar está grabado en la cinta.

Una vez completada la sesión de grabación pista a pista «laying down» se procede a hacer la mezcla «mixdown» a partir de la matriz multipista. Esta tarea se hace a menudo en un lugar diferente a donde se hizo la grabación original. Consiste en llevar la salida de cada pista a las entradas de línea de un mezclador, tratando cada pista como si fuera una fuente original.

El balance entre canales y la situación de cada uno de ellos en la imagen estéreo puede hacerse según las preferencias de cada uno (¡dentro, claro está, del presupuesto asignado al proyecto!), bajo control del productor y sin necesidad de que estén presentes todos los músicos. Durante este proceso de mezcla tiene lugar una postproducción adicional. Se puede mejorar la mezcla final añadiendo los efectos que se crean necesarios con ayuda de dispositivos externos (ver Capítulo 14). Debido a la gran cantidad de canales que se emplean hoy día en cualquier grabación, resulta difícil –si no imposible– para el ingeniero de sonido mezclar correctamente una pieza musical completa de una sola pasada. Para ayudar en esta tarea se emplea a menudo algún sistema de automatización capaz de memorizar los cortes y los movimientos de los atenuadores en la consola de mezclas.

El «master» estéreo que resulta de esta mezcla sufre una pequeña edición para situar cada canción en su orden correcto antes de concluir en la matriz de producción. Una vez completada la grabación se transformará en un soporte matriz para cada uno de los formatos en que vaya a ser lanzada al mercado, según se mencionó en la sección 3.2.1.

3.2.3 Sonido en cine

En la producción cinematográfica comercial el sonido se graba normalmente separado de la imagen, utilizando para ello un magnetófono portátil de cuarto de pulgada, como el Nagra IV-S, por ejemplo. Para mantener en todo momento –sobre todo en la postproducción– una correspondencia del sonido con la imagen, se graba al mismo tiempo en la cinta de audio una señal de sincronismo «piloto» relacionada con la velocidad de la cámara. El sonido grabado en exteriores, o sonido directo, se copia en el estudio en cinta magnética perforada, con el fin de que pueda ser editada de la misma manera que las imágenes (ver figura 3.5). Las diferentes «bandas» de sonido pueden desplazarse entre sí de forma sincronizada, utilizando para ello un dispositivo conocido como «moviola» (ver figura 3.6). Consta, básicamente, de un eje común que une a varias bandas, cada una de las cuales puede quedar liberada mediante un embrague. Gracias a esto, se pueden desplazar entre sí una o más bandas –lo que equivale a un desplazamiento en el tiempo– hasta conseguir el efecto sonoro deseado.

Durante la edición de sonido para cine, el sonido original y las diferentes bandas añadidas se cortan de tal forma que haya una sincronización perfecta entre el sonido y la imagen ya editada. Esto se logra añadiendo cinta virgen allí donde sea necesario para que todas las pistas tengan la misma longitud y para que haya coincidencia en los tiempos. Si el sonido directo de alguna escena estuviera defectuoso puede sustituirse con un nuevo diálogo grabado en otra pista separada. También es posible añadir más pistas, con música o algún otro efecto sonoro (FX). La información sobre qué pistas están activas y en qué momento, se recoge en una pauta de doblaje, en la que se indica también el contenido de cada sección. Durante el «doblaje» todas las pistas están sincronizadas mediante las correspondientes ruedas de arras-

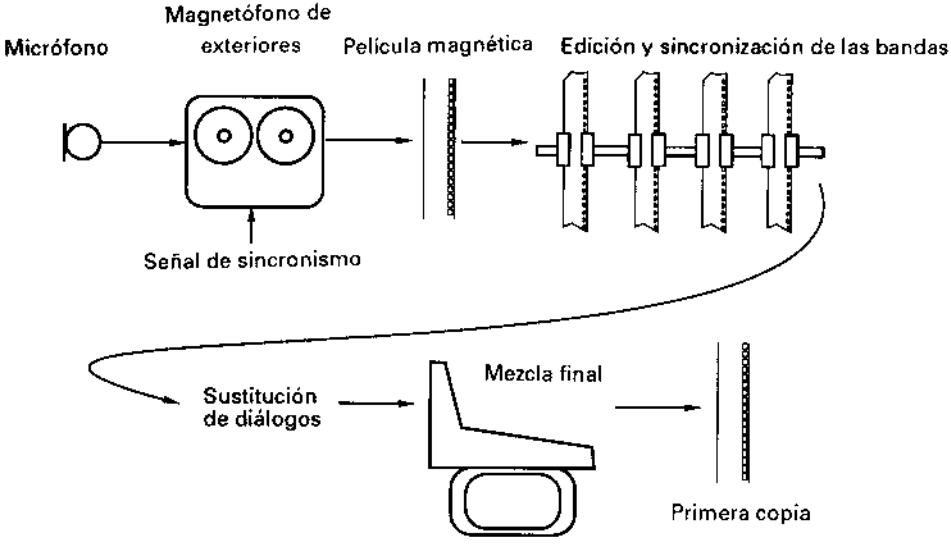


Figura 3.5 Esquema de la producción de sonido para cine.

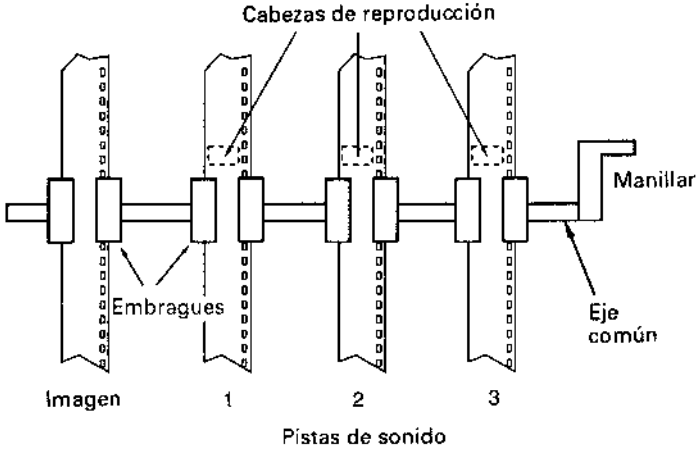


Figura 3.6 Las bandas de sonido para cine se sincronizan normalmente durante la edición utilizando un dispositivo mecánico como el de la figura.

tre, enclavadas eléctricamente; el sonido resultante se mezcla de acuerdo con la «pauta» de doblaje de forma que se obtenga ya una primera copia definitiva (ver figura 3.7). A partir del sonido obtenido en este proceso suelen hacerse copias en distintos formatos dependiendo de su destino: sonido mono estándar, Dolby Stereo en 35 mm y Dolby Stereo de 70 mm.

Últimamente se han adoptado sistemas de edición digital basados en disco duro (ver sección 10.9), que permiten incrementar, si es necesario, el número de pistas. En estos sistemas se mantiene el concepto de pistas independientes, lo que permite que la nueva tecnología sea fácilmente asimilable por aquellas personas acostumbradas a la edición en cine de manera tradicional.

Tiempos	Escena	Diálogo 1	Diálogo 2	FX 1	Música
33'15"	Panorámica de restaurante	Margarita: ¡«Camarero, aquí!		Fondo de restaurante	Música orquestal de fondo. Música de baile de años 20
33'24"	Primer plano de Joaquín		Joaquín: «...no estoy de acuerdo con la opinión,.. etc.»		
33'30"			Camarero: «Un momento señor»		
33'33"	Joaquín y Margarita		Margarita: «Bien, con respecto a nuestro pequeño problema ...»		

Figura 3.7 Ejemplo de una carta de doblaje sencilla, que representa una escena con dos bandas de diálogo, una pista de efectos y una de música.

3.2.4. Sonido para vídeo

Los grabadores de vídeo profesionales (VTR) tienen un número limitado de pistas de sonido. De hecho, hasta hace relativamente poco tiempo no se ha cuidado mucho la calidad de sonido en TV. Los recientes desarrollos de VTR digitales han traído consigo una mejora considerable en el número y en la calidad de las pistas de sonido, si bien –salvo en el caso de pequeñas producciones– ese número de pistas resulta a veces insuficiente.

En una producción de vídeo el sonido original puede grabarse directamente en las correspondientes pistas del VTR, puesto que no existe la costumbre –como ocurría con el sonido en cine– de grabar por separado el audio y el vídeo. El sonido original se edita al mismo tiempo que la imagen, con ayuda de sistemas de edición electrónica. Para tratar el sonido alrededor de los puntos de edición y para «empalmar» distintas tomas se emplea a menudo una memoria de estado sólido o un magnetófono adicional de 1/4 de pulgada, sincronizado mediante código de tiempo (ver figura 3.8). Sobre el «master» que resulta de esta edición se hace una postproducción durante la cual se añaden efectos, música y doblaje de diálogos. Antiguamente se empleaba un multipista para este propósito, pero hoy en día está cada vez más extendido el uso de editores de disco duro (ver sección 10.9) que ofrecen una mayor flexibilidad a la hora de ajustar la posición de cada pista y permiten acceder rápida y fácilmente a una librería de efectos.

Una vez completado el doblaje, el resultado se mezcla y se «devuelve» a la cinta de vídeo ya editada, en sincronismo con la imagen. El sonido original se sustituye de esta forma por el sonido editado, que incluye a su vez partes del original.

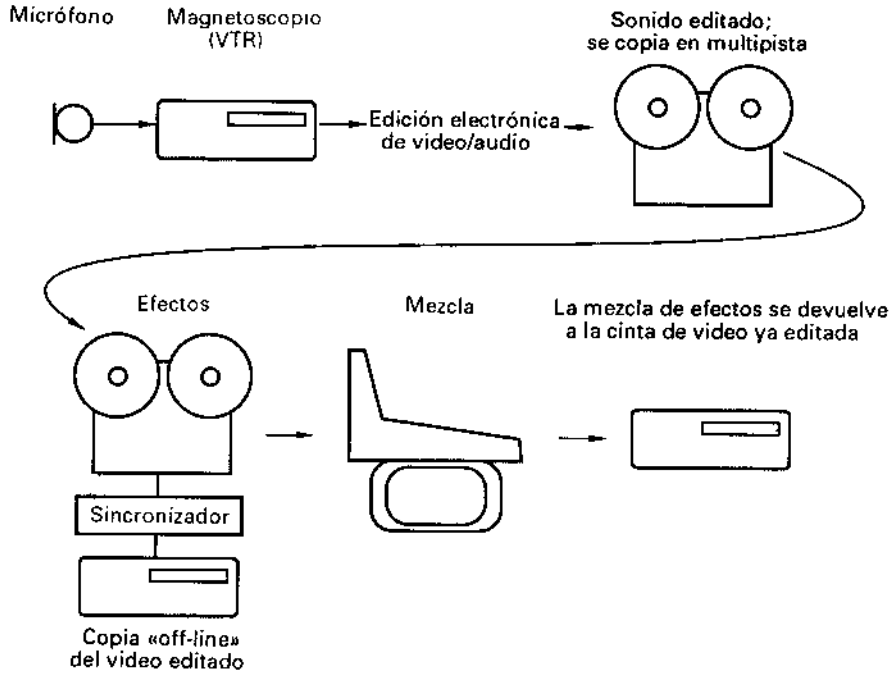


Figura 3.8 Esquema de una producción de sonido para vídeo.

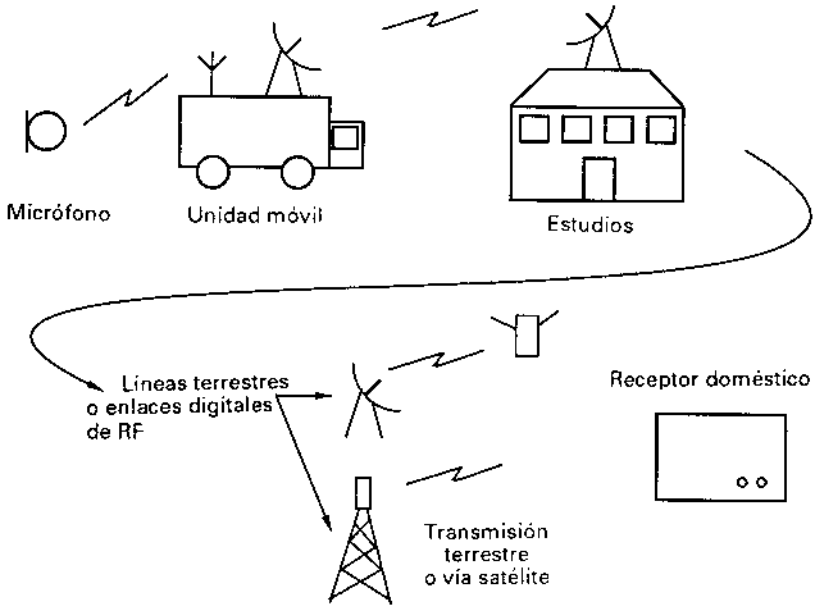


Figura 3.9 Diagrama del camino típico seguido por una señal de sonido de televisión.

3.3 Distribución en radio y televisión

El sonido de radio y televisión puede estar sometido a cualquiera de los procesos de producción comentados anteriormente. Sufrirá, no obstante, una serie de problemas adicionales derivados de la distribución por toda una red de centros de producción y de transmisión, unidos entre sí por diversos tipos de enlaces, tanto analógicos como digitales.

A lo largo de su vida, una señal típica de sonido de televisión, con origen en un punto de exteriores, puede viajar durante muchos kilómetros (ver figura 3.9). Un micrófono inalámbrico (ver sección 4.10), por ejemplo, transmite su señal hasta la unidad móvil, la cual, a su vez, emplea un radioenlace de microondas para enviar el sonido de programa a los estudios centrales. Ya en los estudios, la señal atraviesa el cableado interno para ser conectada finalmente a una red de distribución de señales, que la lleva hasta otros centros de producción y de transmisión en todo el país. Esta red puede ser del tipo denominado de «líneas terrestres» (conexión por cable) o bien enlaces de radiofrecuencia, en ocasiones con codificación digital. Desde cada centro de transmisión el programa se distribuye hacia los consumidores a través de nuevos enlaces de radiofrecuencia. Existe también la posibilidad de enviar esa señal a un satélite para su emisión nacional o internacional.

3.4 Introducción a los niveles de señal

En la figura 3.10 puede verse una cadena completa, en la que una señal de audio parte de un micrófono, atraviesa un mezclador, se graba en un magnetófono y llega a un altavoz. A lo largo de todos estos pasos sufre varios cambios en el nivel de tensión. En la misma figura se muestran también otras posibles fuentes, con sus niveles nominales de salida, a fin de ilustrar las diferencias que existen.

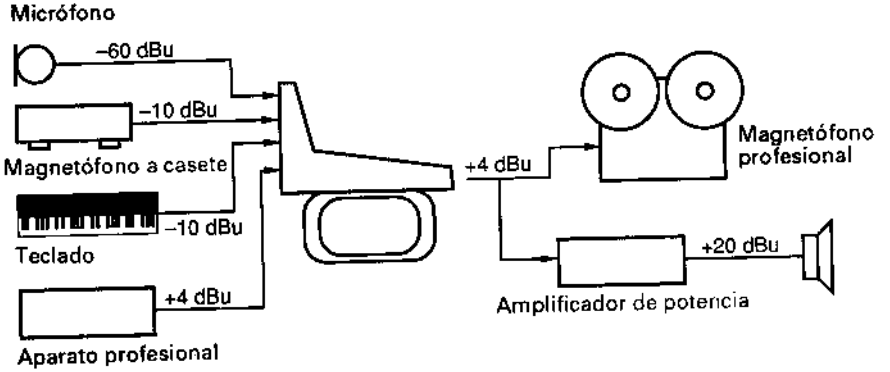


Figura 3.10 Niveles típicos de señal en una cadena de grabación.

El voltaje nominal de salida de un micrófono es normalmente bastante bajo. Este valor está en función, por supuesto, del tipo de micrófono (ver Capítulo 4), pero puede ser del orden de un milivoltio (1 mV = 0'001 V). El nivel real depende, si embargo, de la magnitud del sonido que está captando. A esto se le conoce generalmente como señal con «nivel de micrófono» (o más simplemente nivel de «micro»), para distinguirla de la señal a «nivel de línea», la cual tiene un valor nominal próximo a 1 voltio. Las señales con nivel de línea se suelen indicar con referencia a un nivel de 0'775 voltios, denominado 0 dBu (ver Ficha Temática 1.2). Los magnetófonos, unidades de efectos, mezcladores y demás aparatos de estudio tienen, generalmente, salidas a nivel de línea. Las señales a nivel de micrófono tienen un voltaje 60 dB por debajo del nivel de línea, y requieren, por tanto, una amplificación para elevarlas a ese nivel. Casi todos los mezcladores tienen incorporados amplificadores de micrófono y controles de ganancia en cada canal, con el fin de permitir márgenes de amplificación entre 30 y 80 dB, en función del nivel de salida del micrófono y del nivel de la fuente sonora.

La salida de un mezclador está a nivel de línea, y se envía a un amplificador de potencia que, a su vez, alimenta a los altavoces. Los altavoces necesitan un voltaje relativamente alto para generar el nivel sonoro que se requiere en cada caso. Dicho voltaje dependerá de la eficiencia del altavoz y del nivel sonoro que se pretenda conseguir. El nivel de la señal que se envía a un altavoz puede ser –por dar un ejemplo– del orden de 10 voltios nominales.

Un magnetófono analógico se alimenta con una señal eléctrica a nivel de línea, pero la transforma en señal magnética para que pueda ser grabada en la cinta (ver sección 8.2). Existen distintos niveles magnéticos de referencia, según se expone en la Ficha Temática 8.5. Es importante observar que hay una relación variable entre el nivel magnético en la cinta y el nivel eléctrico de entrada al magnetófono, que depende de cómo esté ajustado el aparato.

Los aparatos de consumo, tales como sintonizadores de FM, magnetófonos de casete y algunas unidades de efectos baratas, tienen niveles de salida por debajo de 0 dBu, estando normalmente alrededor de los 100 mV o, a veces, a –10 dBV. Los amplificadores de línea pueden elevar estas señales hasta un nivel más alto, al mismo tiempo que balancean la salida (en los equipos domésticos suele ser desbalanceada. Ver sección 13.2). Las señales de línea desbalanceadas pueden conectarse directamente a una entrada balanceada, pero existe el riesgo de que aparezca alguna interferencia y de que aumente ligeramente el nivel de ruido. Los amplificadores de alta fidelidad para consumo trabajan normalmente con señales de entrada más bajas, y todas sus entradas, excepto la de tocadiscos (también señalada como «RIAA» o «PHONO»), estarán normalmente a este nivel. También existe a veces una entrada especial

CD/DAT, con un nivel nominal ligeramente mayor, puesto que los equipos digitales de consumo tienden a entregar un voltaje de salida máximo más alto que cualquier otro equipo doméstico. Si se conectan salidas de equipos profesionales a equipos domésticos de alta fidelidad, es importante no llegar a sobrecargar las entradas. De nuevo son los amplificadores o los transformadores (ver sección 13.1) los que nos van a permitir modificar los niveles, ajustándolos a las necesidades de cada caso.

Los tocadiscos son, de alguna manera, únicos en este aspecto, puesto que su cápsula de imán móvil produce una señal de bajo nivel, similar a la de un micrófono; la diferencia está en que la primera necesita ser ecualizada de acuerdo con la curva RIAA (ver sección 11.2). En el preamplificador del sistema donde va a reproducirse un disco se instala un filtro RIAA. Por esta razón la entrada de tocadiscos de un amplificador no debería utilizarse para ningún otro dispositivo, al igual que la salida de un tocadiscos no debe conectarse a una entrada de micrófono, puesto que no sufriría la necesaria corrección de frecuencia.

Las lecturas que ofrece el medidor, correspondientes a los distintos niveles eléctricos en un sistema profesional, dependen del tipo de medidor, del nivel de operación con el que se esté trabajando en el estudio, etc. Por ser éste un asunto muy extenso, se abordará con detalle en la sección 7.5.

Lecturas recomendadas

Historia

Gelatt, R. (1977) *The Fabulous Phonograph.* Cassell and Co., London.
Read, O. (1976) *From Tinfoil to Stereo.*

Sistemas y señales de audio (general)

BS 6840. *Audio Equipment.* British Standards Office.
CCIR Rec. 574-1 (1982) (re signal levels and dB suffixes). Vol. 13. Green Book.

Ver también *Lecturas generales recomendadas* al final de este libro.

Micrófonos

Un micrófono es un transductor que convierte la energía acústica en energía eléctrica. Realiza la función inversa a un altavoz, que transforma energía eléctrica en acústica. Existen tres principios básicos de funcionamiento, que dan lugar a su vez a los tres principales tipos de micrófonos; estos son: micrófono de bobina móvil o «dinámico», micrófono de cinta y micrófono de efecto capacitivo o de condensador. Los tres principios se describen en las Fichas Temáticas 4.1, 4.2 y 4.3, respectivamente.

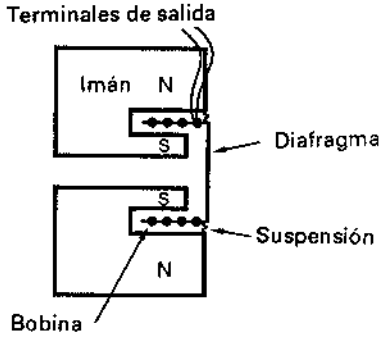
4.1 Micrófono dinámico o de bobina móvil.

El micrófono de bobina es de uso muy extendido en el mundo de la sonorización, debido a su robusted, que le hace particularmente apropiado para vocalistas. A este tipo de micrófonos se le acopla normalmente una pantalla antiviento construida con una red metálica en forma de bulbo y rellena de espuma, que sirve para atenuar el ruido que produce el viento y los «pop» de la boca cuando se habla a poca distancia del micrófono. También llevan a veces incorporado un atenuador de graves para compensar el efecto de reforzamiento de las bajas frecuencias. Este fenómeno se produce en micrófonos con respuesta direccional, cuando se sitúan a menos de unos 50 cm de la fuente sonora (ver Ficha Temática 4.4). La respuesta en frecuencia de un micrófono de bobina móvil tiende a mostrar un pico de resonancia de varios decibelios en la banda de frecuencias media/alta (alrededor de los 5 kHz), o banda de «presencia», acompañado de una caída bastante rápida en la respuesta por encima de los 8 ó 10 kHz. Esto es debido al hecho de que la inercia de la estructura bobina+diafragma es suficiente para impedir que el diafragma se mueva todo lo rápido que es necesario en altas frecuencias. Precisamente estos defectos hacen que los micrófonos de bobina sean una buena opción para vocalistas, puesto que el pico de presencia ayuda a realzar la voz y mejorar su inteligibilidad. Su robustez hace también que sea prácticamente el único que se utiliza como micrófono para el bombo, en música rock. Su calidad sonora está acotada por su limitada y algo irregular respuesta en frecuencia, pero es de gran utilidad en aplicaciones tales como la toma de sonido de baterías, vocalistas y amplificadores de guitarra.

Han aparecido uno o dos micrófonos de bobina móvil de alta calidad, con una respuesta en frecuencia más amplia y, de alguna manera, más plana. Una forma de conseguir esto ha sido mediante el uso de dos cápsulas microfónicas en un mismo módulo: una de ellas para cubrir las frecuencias medias y altas, y la otra para las frecuencias bajas.

FICHA TEMÁTICA 4.1 Principios de los micrófonos dinámicos

El micrófono de bobina móvil funciona al contrario que un altavoz de bobina móvil. Como puede verse en la figura, consta de un diafragma rígido, de unos 20-30 mm de diámetro, suspendido frente a un imán. Solidario con el diafragma se sitúa un cilindro sobre el que se arrolla hilo fino formando una bobina. Ésta se sitúa en una hendidura practicada en un imán permanente de mucha «potencia». Cuando el diafragma se ve obligado a vibrar debido a ondas sonoras, la bobina se mueve, a su vez, hacia adelante y hacia atrás dentro de la ranura del imán, generándose en la bobina una corriente alterna (CA) que constituye la señal eléctrica de salida (ver Ficha Temática 3.1). Algunos modelos tienen espiras suficientes en la bobina como para entregar un nivel suficientemente alto que pueda enviarse directamente a la salida. Otros modelos que utilizan, por el contrario, menos espiras elevan el nivel de esa señal mediante un transformador alojado en el propio cuerpo del micrófono. La frecuencia de resonancia de los diafragmas de micrófono dinámico suele situarse en la zona de frecuencias medias.



La impedancia estándar de salida de los micrófonos profesionales es 200 ohmios. Se eligió este valor por ser lo suficientemente alto como para permitir el uso de transformadores de salida con factores de elevación interesantes y, al mismo tiempo, lo suficientemente baja como para permitir largas tiradas de cable. Es posible, no obstante, encontrar micrófonos con impedancias entre 50 y 600 ohmios. Algunos modelos de bobina móvil disponen de un transformador diseñado para entregar una salida de nivel alto sobre alta impedancia. Esta salida es capaz de alimentar directamente las entradas de baja sensibilidad de los amplificadores de guitarra y de algunos amplificadores de megafonía. Las salidas de alta impedancia pueden, no obstante, utilizarse únicamente para atacar cables de algunos pocos metros de longitud y evitar así pérdidas en altas frecuencias (todo este asunto se tratará en el Capítulo 13).

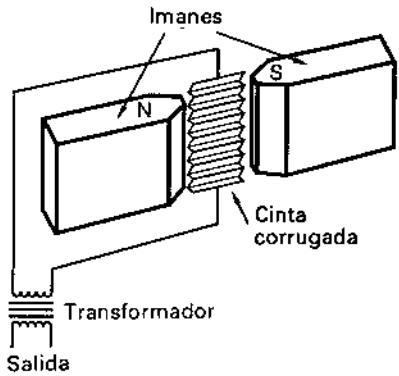
4.2 Micrófono de cinta

El micrófono de cinta puede llegar a ofrecer muy buenos resultados. La flexibilidad y la suspensión de la cinta proporcionan una resonancia en baja frecuencia, alrededor de 40 Hz, por debajo de la cual su respuesta en frecuencia cae rápidamente. En el extremo superior de la banda la respuesta permanece plana. Sin embargo, la propia inercia de la cinta indica que tiene dificultad en responder a frecuencias muy altas, presentando una fuerte atenuación por encima de los 14 kHz, aproximadamente. Si se disminuye su tamaño (y por tanto la masa) la cinta ofrece menos superficie expuesta a las ondas sonoras y la salida se hace inaceptablemente baja. Algún fabricante ha adoptado el principio de la «doble cinta», que, de alguna manera, trata de resolver esta cuestión. Utilizando dos cintas de la mitad de longitud que una cinta convencional se montan una sobre la otra y se conectan en serie. Son, por tanto, análogas a una cinta convencional con su parte central fija. Cada cinta tiene de esta forma la mitad de inercia y mejor respuesta en frecuencias altas. Al trabajar las dos simultáneamente se mantiene el nivel de salida necesario.

El micrófono de cinta es más delicado que el de bobina y está mejor dotado para aplicaciones en las que interese una respuesta plana, como es el caso de los instrumentos acústicos

FICHA TEMÁTICA 4.2 Principios del micrófono de cinta

El micrófono de cinta consta de una tira larga y fina de metal conductor, plegada para que tenga al mismo tiempo rigidez y elasticidad, y sujeta con una ligera tensión entre dos abrazaderas (ver figura). Los polos opuestos del imán crean un campo magnético que atraviesa la cinta e induce en ella una corriente cada vez que vibra debido a ondas sonoras (ver Ficha Temática 3.1). La tensión eléctrica de salida de la cinta es muy pequeña, por lo que debe elevarse mediante un transformador alojado en la propia carcasa del micrófono. El factor de elevación del transformador para una cinta determinada se elige para que la impedancia de salida sea el valor estándar de 200 ohmios; el nivel eléctrico de salida es comparable al de los micrófonos de bobina móvil. La frecuencia de resonancia de los micrófonos de cinta se sitúa normalmente en el extremo inferior de la banda de frecuencias de audio.



o de las orquestas clásicas. Existen, no obstante, modelos robustos que tienen aspecto de micrófonos vocales de bobina y que pueden intercambiarse con ellos. Tal vez no sea una buena idea utilizar un micrófono de cinta para hacer una toma de sonido del bombo de un conjunto rock, debido a los niveles de presión sonora tan altos que debería soportar.

4.3 Micrófono de condensador

4.3.1 Micrófono de condensador básico

La gran ventaja del diafragma de un micrófono de condensador con respecto a uno de bobina o de cinta es que el primero no está unido a ninguna bobina y no necesita tener una forma o tamaño determinados por el hecho de estar situado dentro de un campo magnético. Está formado por un disco muy ligero de 12 a 25 mm de diámetro, fabricado normalmente sobre una base de poliester recubierta de una capa extremadamente fina de metal vaporizado que lo hace conductor. A veces el propio diafragma está hecho de algún metal, como titanio. La frecuencia de resonancia se sitúa normalmente en la banda de 12 - 20 kHz, pero en este caso, y debido al poco peso del diafragma, no hay un pico de señal tan alto como ocurre con los de bobina.

Los micrófonos de condensador pueden entregar a veces una salida a nivel de línea. Esto se logra fácilmente puesto que en el propio cuerpo del micrófono va incorporado siempre un amplificador. Esta salida de alto nivel proporciona inmunidad de la señal frente a interferencias cuando se emplean cables de mucha longitud; al mismo tiempo evita tener que utilizar amplificadores de micrófono dentro del mezclador o del magnetófono. Este tipo de micrófonos necesita de una alimentación «phantom», o fantasma, para su correcto funcionamiento (ver sección 4.9.1).

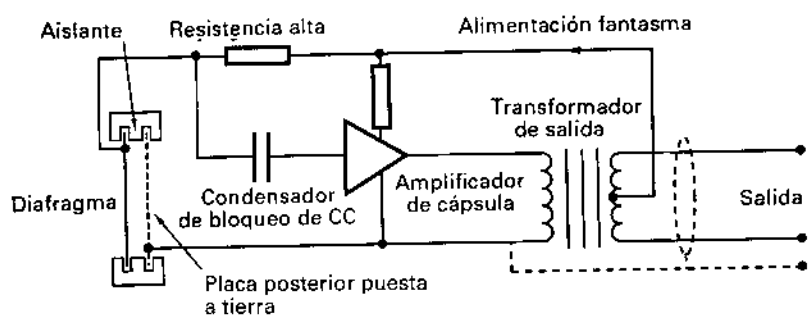
FICHA TEMÁTICA **4.3**

Principios del micrófono de condensador

El micrófono de condensador se basa en el principio de que si una de las placas de un condensador tiene libertad de movimiento con respecto a la otra, la capacidad de almacenar carga variará. Según se muestra en la figura el condensador consta de un diafragma flexible y de una placa rígida posterior, separados ambos por un aislante. El diafragma está expuesto a las ondas sonoras y vibrará en simpatía con ellas. Los 48 V de CC (alimentación fantasma) cargan el condensador a través de una resistencia de valor muy alto. Mediante un condensador de bloqueo se evita que la alimentación «phantom» esté presente a la entrada del amplificador de cápsula, al mismo tiempo que permite que pasen perfectamente las señales de audio.

Cuando las ondas sonoras mueven el diafragma, varía la capacidad del condensador y, por tanto, el voltaje entre sus placas varía también proporcionalmente; la alta resistencia evita que haya mucha fuga de carga procedente del diafragma (la descarga del diafragma es mucho más lenta que la velocidad de cambio debida a las frecuencias de audio). Esta modulación de voltaje se aplica a la entrada del preamplificador (a través de un condensador de bloqueo) que transforma la muy alta impedancia de salida de la cápsula de condensador en un valor de impedancia mucho más bajo. El transformador de salida «equilibra» esta señal (ver sección 13.4) y la lleva a los terminales de salida. La frecuencia de resonancia del diafragma de un micrófono de condensador se sitúa normalmente en el extremo superior del espectro de audio.

El preamplificador de cápsula está formado por un transistor de efecto de campo (FET), que tiene una impedancia de entrada casi infinita. Están también presentes otros componentes electrónicos, con funciones tales como regulación de voltaje o ajuste de los parámetros de salida. En los primeros micrófonos de condensador esta primera amplificación se hacía mediante válvulas, lo que equivale a mayor volumen que los equipos modernos. Necesitaban además conexiones especiales para alimentar las válvulas con alta tensión y para el caldeo de los filamentos. Como puede deducirse, no resultaban muy convenientes para esta aplicación, pero la buena calidad de sonido de los micrófonos de condensador ha hecho que se establezcan por sí mismos. Hoy en día el micrófono de condensador está considerado como el estándar de la máxima calidad, quedando el resto de los tipos para aplicaciones más o menos especializadas. El consumo de corriente en los micrófonos de condensador varía de un modelo a otro, pero se sitúa generalmente entre 0'5 mA y 8 mA; esta corriente la suministra la fuente de alimentación «phantom».



4.3.2 Micrófono electret

El llamado principio «electret» o «condensador electret» se desarrolló mucho más tarde que los anteriores. La polarización del diafragma mediante una tensión de 48 voltios puede sustituirse por una carga electrostática permanente, inducida en el mismo durante su fabricación. Para conseguir esto el diafragma debe tener una masa mayor, lo que llevará a que su respuesta en audio se asemeje más a la de una bobina móvil que a la de un micrófono de condensador verdadero. La energía para alimentar el amplificador alojado en el propio micrófono puede obtenerse de una pequeña pila o batería, o mediante alimentación «phantom». El tipo electret está especialmente indicado en aplicaciones donde es importante un pequeño tamaño y poco peso. Este es el caso de los pequeños grabadores de casete portátiles (todos los micrófonos que llevan incorporados son actualmente de tipo electret) y de los micrófonos «de solapa», de uso muy extendido en televisión. Los micrófonos electret resultan muy baratos fabricados en grandes cantidades.

Posteriormente se desarrolló la técnica denominada de placa fija cargada. En este caso el diafragma es igual que el del micrófono de condensador convencional, mientras que es la placa fija, rígida, la que alberga una carga permanente. Existen micrófonos de alta calidad de este tipo con prestaciones similares a las de uno de tipo condensador convencional con polarización de 48 voltios.

4.3.3 Micrófono de condensador de RF

Una variación sobre el mismo principio es el micrófono de condensador de RF (Radiofrecuencia), en el cual el condensador formado por el diafragma y la placa fija forma parte de un circuito sintonizado que genera una señal portadora constante; la frecuencia de esta señal es mucho mayor que la mayor de las frecuencias de audio. Las ondas sonoras mueven el diafragma como en los casos anteriores, pero esto causa ahora una modulación de la frecuencia portadora. Esta se desmodula a continuación en un proceso similar a la recepción de radio en FM; la señal que resulta se envía a los terminales de salida (debe entenderse que todo este proceso tiene lugar dentro de la propia carcasa del micrófono y no tiene nada que ver con los sistemas de micrófonos inalámbricos que se tratarán en la sección 4.10).

4.4 Diagramas polares y respuestas direccionales

Los micrófonos se diseñan para que tengan un determinado modelo de respuesta direccional, que se representa mediante el denominado «diagrama polar». El diagrama polar es una especie de mapa de contorno bidimensional que indica la magnitud de la salida de un micrófono para diferentes ángulos de incidencia de la onda sonora. La distancia desde cualquier punto de la curva polar hasta el centro de la gráfica (que representa la posición del diafragma del micrófono) está calibrada normalmente en decibelios. El valor nominal 0 dB se marca para la respuesta a cero grados con una señal de 1 kHz. Cuanto más alejada esté la curva del centro de la gráfica, significa que mayor es la salida del micrófono para un ángulo determinado.

4.4.1 Respuesta omnidireccional

Un micrófono ideal con respuesta omnidireccional, u «omni», es aquel que capta sonidos por igual en todas las direcciones. En la figura 4.1 se representa en forma polar una respuesta omni. Se logra dejando el diafragma abierto en su parte frontal y completamente cerrado en

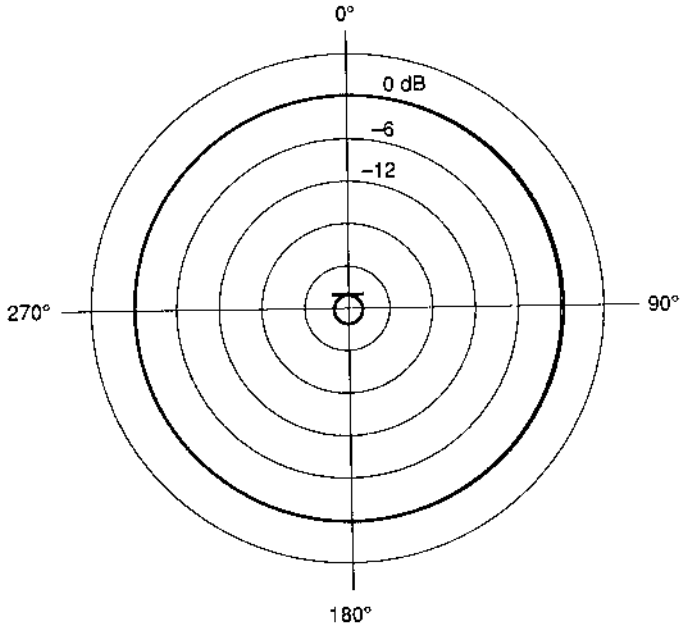


Figura 4.1 Diagrama polar de un micrófono omnidireccional ideal.

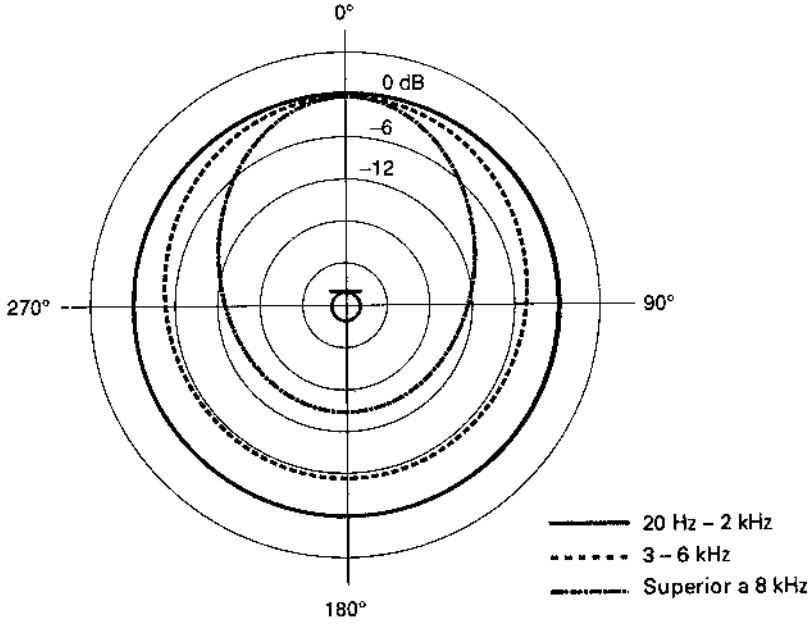


Figura 4.2 Diagrama polar típico de un micrófono omnidireccional, representando la respuesta para varias frecuencias.

la parte posterior; de esta forma el micrófono se convierte en un simple transductor de presión que responde únicamente a los cambios de presión del aire causados por las ondas sonoras. Este dispositivo funciona muy bien para frecuencias bajas y medias, pero con frecuencias altas las propias dimensiones de la cápsula de micrófono comienzan a ser comparables con la longitud de onda del sonido y el efecto sombra hace que estas frecuencias se capten peor en la parte posterior y en los laterales del micrófono. Al mismo tiempo se produce un reforzamiento de los agudos que provienen de la parte frontal. Se une a esto la posibilidad de que aumenten las cancelaciones cuando una onda de alta frecuencia, cuya longitud de onda es comparable con el diámetro del diafragma, incide en éste desde uno de los laterales. En este caso, los picos positivos y negativos de la onda pueden ocasionar una oposición de fuerzas sobre el diafragma.

La figura 4.2 nos muestra la curva de respuesta polar que cabe esperar para un micrófono omnidireccional real con una cápsula de 13 mm (media pulgada) de diámetro. Es perfectamente omnidireccional hasta, aproximadamente, 2 kHz, pero a partir de aquí comienza a perder sensibilidad por la parte trasera; en 3 kHz su sensibilidad a 180° será normalmente unos 6 dB inferior a la de frecuencias más bajas. Por encima de los 8 kHz la respuesta a 180° podría haber caído del orden de 15 dB y para 90° y 270° del orden de 10 dB. Como consecuencia de esto, los sonidos captados con bastante desviación con respecto al eje del micrófono serán reproducidos con una considerable pérdida en agudos y sonarán «apagados». La respuesta máxima se consigue en el eje y con desviaciones de hasta 45° a ambos lados del micrófono.

Los micrófonos omnidireccionales de alta calidad se caracterizan por cubrir un margen amplio de frecuencias y por una respuesta plana, que se extiende desde las muy bajas frecuencias hasta las frecuencias más altas, sin que se aprecien resonancias ni coloraciones. Esto se debe al hecho de ser de diseño muy simple, con una sola cápsula abierta en el frente y completamente cerrada en su parte posterior (en realidad se practica una pequeña abertura en la parte trasera del diafragma con el fin de compensar cualquier cambio de presión atmosférica que, de no existir tal orificio, podría distorsionar el diafragma). Los pequeños micrófonos de solapa que podemos ver a menudo en televisión son normalmente omnidireccionales del tipo electret, capaces de tener unas buenas prestaciones. Cuanto menores son las dimensiones del micrófono mejor es la respuesta polar para frecuencias altas. Este tipo de micrófonos tienen diafragmas de 6 mm, que mantienen una buena respuesta omnidireccional hasta los 10 kHz.

Los micrófonos omnidireccionales son, por regla general, los más inmunes a los ruidos de manipulación y a los que produce el viento, puesto que únicamente son sensibles a la presión sonora absoluta. Las respuestas en forma de ocho (especialmente las de micrófono de cinta) y cardioide, descritas a continuación, son mucho más susceptibles que los omnis a los ruidos de manipulación y a los del viento, puesto que responden al *gradiente* de presión que sufre la cápsula al recibir movimientos de baja frecuencia, como es el caso de estos ruidos. En frecuencias bajas la impedancia mecánica (la resistencia del diafragma al movimiento) de un micrófono de gradiente de presión es siempre menor que la de un micrófono de presión (omnidireccional); el primero, por tanto, es más susceptible a las perturbaciones de BF indeseadas.

4.4.2 Respuesta bidireccional o de forma de ocho

La respuesta bidireccional o de «forma de ocho» se representa en el diagrama polar de la figura 4.3. Un micrófono de este tipo tiene una salida proporcional al coseno matemático del ángulo de incidencia (señalado en la figura como ϑ). Podemos representar rápidamente un diafragma con forma de ocho sin más que disponer de una hoja de papel milimetrado, un transportador de ángulos y unas tablas con diferentes valores de cosenos, o bien una calculadora: cos 0° = 1, lo que representa la máxima respuesta en el eje frontal o principal (este valor se tomará como el punto de referencia, con 0 dB). cos 90° = 0, que indica que en el eje perpen-

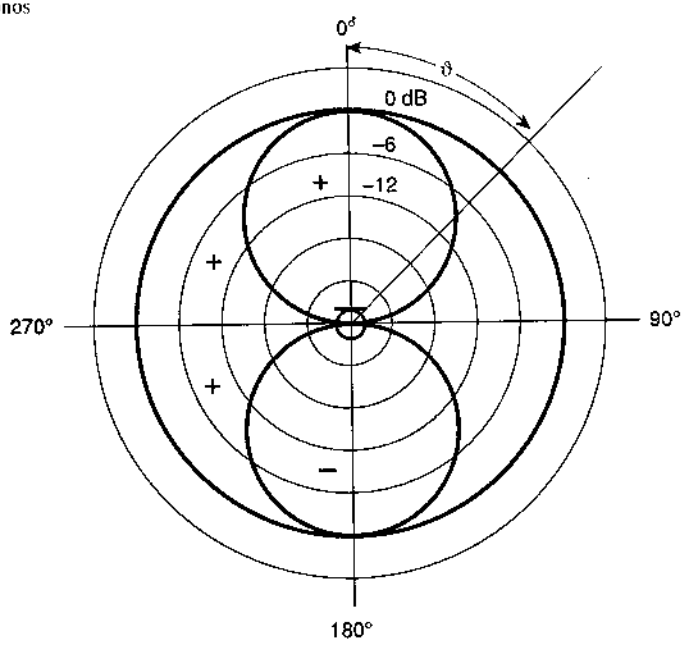


Figura 4.3 Diagrama polar ideal de un micrófono bidireccional.

dicular al frontal no se capta sonido alguno. cos 180° = –1, que significa que la salida producida por un sonido captado por el lóbulo posterior del micrófono estará desfasada 180° con respecto a un sonido idéntico que fuera recibido en el lóbulo frontal. La fase se indica mediante los signos + y – en el diagrama polar. Para un ángulo de 45° el nivel de salida es 3 dB menor que la correspondiente al eje principal de 0° (cos 45° = 0'707, o sea, $1/\sqrt{2}$ veces el valor de la salida máxima).

El micrófono de cinta, dejando la misma completamente abierta por delante y por detrás, ha sido tradicionalmente un buen ejemplo de respuesta en forma de ocho. Un diafragma de este tipo responde al principio de gradiente de presión, o sea, a la *diferencia* de presión entre la parte delantera y la trasera. Consideremos el caso de un sonido que llega al micrófono desde una dirección que forma 90° con el eje principal. La presión sonora tendrá la misma magnitud a ambos lados del diafragma, por tanto no habrá ningún movimiento de éste, siendo la salida nula. Cuando el sonido procede del eje de 0° aparece una diferencia de fase entre la parte delantera y la trasera de la cinta, debida a la pequeña distancia adicional que debe recorrer la onda para llegar a la parte posterior. La diferencia de presión resultante produce un movimiento del diafragma que origina, a su vez, una señal de salida.

A frecuencias muy bajas las longitudes de onda son grandes y las diferencias de fase entre las partes delantera y trasera del micrófono son casi insignificantes, ocasionando una reducción gradual del nivel de salida a medida que la frecuencia va disminuyendo. En el micrófono de cinta esto se compensa haciendo buen uso de su baja frecuencia de resonancia, de forma que apoye la respuesta en graves. Los micrófonos de condensador de un único diafragma que tienen respuesta en forma de ocho, no tienen esta opción, puesto que la resonancia del diafragma se produce a una frecuencia muy alta. Cabe esperar, por tanto, una pérdida gradual en graves, a menos que se utilicen otros medios en el diseño del micrófono, como puede ser

FICHA TEMÁTICA 4.4

Efecto proximidad

Los micrófonos de gradiente de presión son susceptibles a un fenómeno conocido como efecto proximidad o efecto «pop», que consiste en que las bajas frecuencias sufren un refuerzo exagerado cuando la fuente sonora está muy próxima al micrófono (menos de 1 m, aproximadamente). En una operación normal la fuerza que produce el gradiente de presión está relacionada casi por completo con la diferencia de fase de la onda sonora entre la parte delantera y la trasera del diafragma (esta diferencia de fase se debe al camino extra que debe recorrer la onda). Para una determinada diferencia entre las longitudes de ambos recorridos la diferencia de fase aumenta con la frecuencia. En BF la diferencia de fase es pequeña y en frecuencias medias y altas el desfase es mayor.

Próximo a una fuente puntual, donde el micrófono está sumergido en un campo de ondas casi esféricas, la presión sonora decrece a medida que aumenta la distancia a la fuente (ver Ficha Temática 1.3).Así pues, además de la diferencia de fase entre el frente y la parte trasera del diafragma, existe una diferencia de presión que es consecuencia de la natural caída de nivel al alejarse de la fuente. Puesto que la fuerza motriz sobre el diafragma debida a la diferencia de fase es pequeña para BF, esta caída en la presión contribuye de forma adicional incrementando el nivel de salida general en graves. En AF la diferencia de fase es mayor, y esto hace que la contribución por diferencia de presión sea menor en proporción a la fuerza motriz total.

Para distancias mayores de la fuente el campo sonoro se aproxima más a uno de ondas planas, y la caída de presión referida a la distancia delante/detrás puede ser considerada insignificante como fuerza motriz sobre el diafragma, haciendo que la salida del micrófono dependa solamente de la diferencia de fase delante/detrás.

una corrección electrónica de la respuesta en frecuencia. Existen micrófonos de doble diafragma que obtienen una respuesta en forma de ocho combinando dos respuestas cardioides orientadas en sentidos opuestos y en contrafase (ver sección 4.4.3).

Al igual que la omnidireccional, la respuesta bidireccional puede proporcionar una reproducción nítida y «no coloreada». La respuesta polar tiende a ser muy uniforme para todas las frecuencias, excepto para una estrecha banda por encima de los 10 kHz. Conviene resaltar, no obstante, que, debido a que la cinta es larga y fina, estos micrófonos tienen mejor respuesta polar en el plano horizontal que en el vertical, para frecuencias altas. Un sonido de alta frecuencia procedente de cualquier dirección por encima del plano del micrófono sufrirá cancelación parcial, puesto que a las frecuencias donde la longitud de onda comienza a ser comparable con la longitud de la cinta la onda llega con un desfase parcial entre la parte superior y la inferior; esto reduce el refuerzo acústico de la cinta comparado con las frecuencias medias. Los micrófonos de cinta con respuesta en forma de ocho deberían, por tanto, ser orientados hacia arriba o hacia abajo (con el cañón vertical) para obtener así la mejor respuesta polar en el plano horizontal. La respuesta en el plano vertical es, generalmente, menos importante.

Aunque una forma de ocho recoge por igual sonidos delanteros y traseros, conviene recordar que hay una contrafase entre ambos frentes, y en algunos casos será preciso corregir la orientación del micrófono.

4.4.3 Respuesta cardioide o unidireccional

La respuesta cardioide se describe matemáticamente como $1 + \cos\vartheta$, donde ϑ es el ángulo de incidencia del sonido. Como el omnidireccional tiene una respuesta de 1 (igual en todas direcciones) y la forma de ocho se representa por $\cos\vartheta$, la respuesta cardioide puede ser conside-

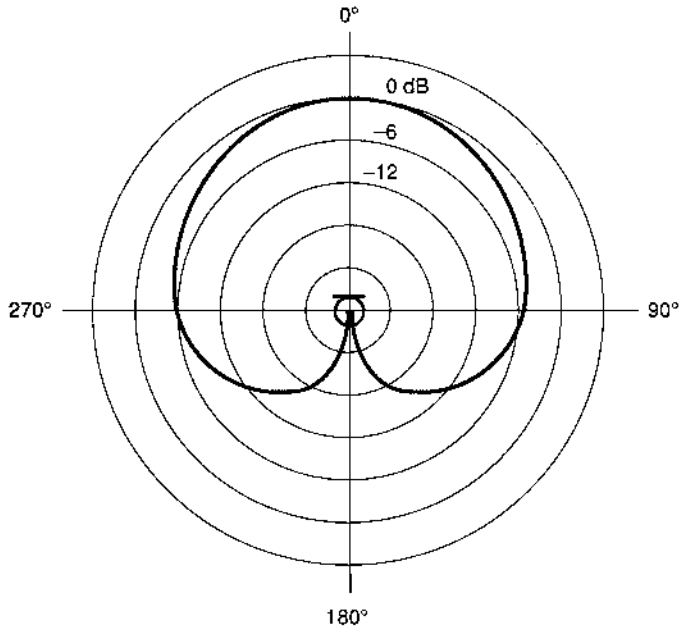


Figura 4.4 (a) Diagrama polar ideal de un micrófono cardioide.

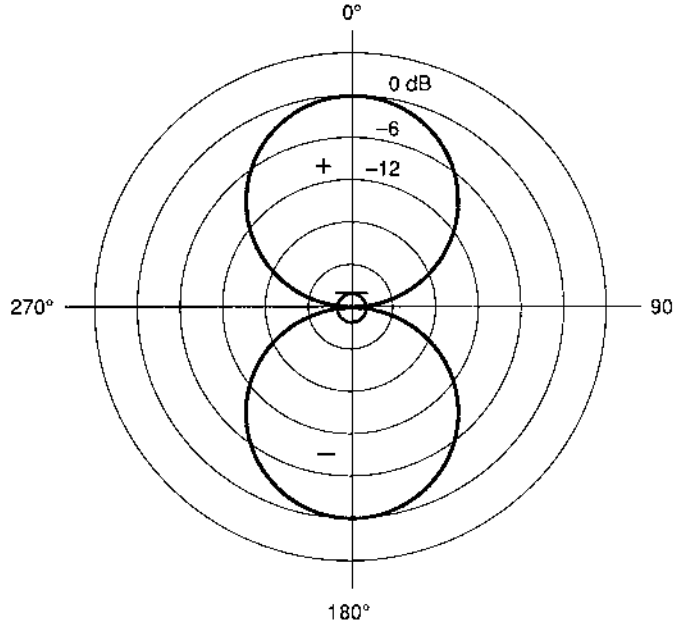


Figura 4.4 (b) Un micrófono cardioide puede verse como el equivalente matemático que resulta de sumar un omni con una forma de ocho.

rada teóricamente como el resultado de las otras dos respuestas. En la figura 4.4 (a) puede apreciarse su forma. En la figura 4.4 (b) se han superpuesto una curva omni y una bidireccional, y podemos ver que si se suman ambas se obtiene una forma cardioide: a 0° las dos curvas son iguales en amplitud y fase, por tanto se refuerzan entre sí proporcionando una salida total que, en realidad, es el doble de cada una de ellas por separado. A 180°, sin embargo, las dos son iguales en amplitud, pero están en contrafase; en consecuencia se anulan entre sí y la salida es cero. A 90° solo hay salida debida a la curva omnidireccional, por tanto la respuesta cardioide cae 6 dB para esa dirección. La caída de 3 dB se obtiene para un ángulo de 65°.

En su día se fabricaron uno o dos modelos de micrófono que, en realidad, albergaban en la misma carcasa los dos tipos de respuesta –forma de ocho y omni– de manera que al combinar ambas eléctricamente se obtenía una salida con respuesta cardioide. Esta construcción resultaba muy voluminosa, teniendo en cuenta además que los dos diafragmas no podían estar muy próximos entre sí para que hubiera una buena respuesta cardioide en altas frecuencias, ya que en éstas la longitud de onda es comparable con la distancia entre diafragmas. Estos diseños, no obstante, lograban realmente una respuesta cardioide partiendo de los principios básicos.

Hoy en día la respuesta en «forma de corazón» se obtiene dejando el diafragma abierto en su frente, pero introduciendo en la parte posterior laberintos acústicos, que hacen que el sonido llegue a esta parte del diafragma tras sufrir una serie de combinaciones de fase y amplitud que darán como resultado una respuesta global cardioide. Esto es difícil de lograr para todas las frecuencias simultáneamente. En la figura 4.5 se muestra una curva polar correspondiente a un micrófono cardioide típico con un diafragma de 19 mm. Como puede verse, la respuesta a frecuencias medias (MF) es muy buena. Para frecuencias bajas tiende a degenerar hacia una curva omni y con frecuencias muy altas la respuesta se hace más direccional de lo que sería deseable. Un sonido captado, digamos, con un ángulo de 45°, por ejemplo, será

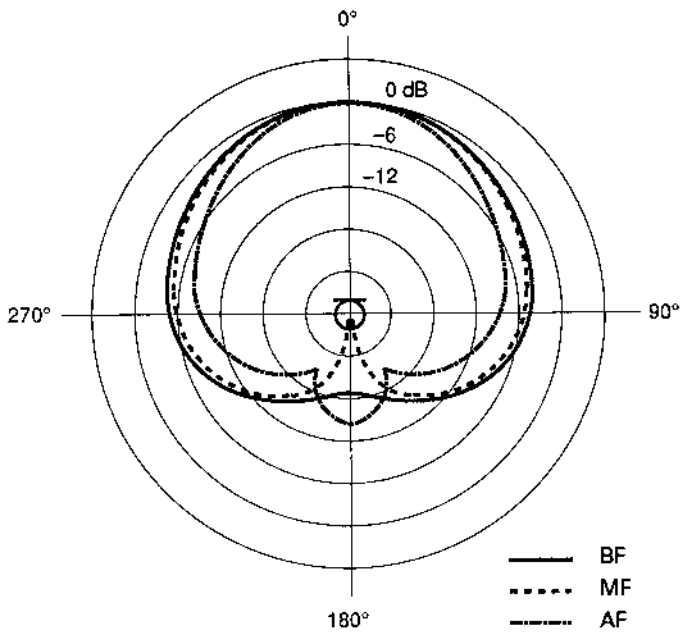


Figura 4.5 Diagrama polar típico de un micrófono cardioide, para frecuencias bajas, medias y altas.

reproducido con pérdida de agudos, mientras que los sonidos que lleguen a la parte trasera del micrófono no serán completamente atenuados; las bajas frecuencias se captarán bastante uniformemente.

El ejemplo anterior es muy típico de cardioides de bobina móvil. Estos son, de hecho, de gran utilidad para vocalistas, debido a que el estrecho ángulo de captación para altas frecuencias ayuda a rechazar sonidos alejados del eje principal. Además, la relativa falta de la componente del gradiente de presión en graves ayuda a eliminar el efecto «pop». Los cardioides de condensador de alta calidad con diafragma de 1/2 pulgada (13 mm) logran una respuesta cardioide más próxima a la ideal. Debido a la existencia de los mencionados laberintos acústicos, la coloración del sonido es bastante más probable, y no es extraño encontrar un micrófono electret omnidireccional relativamente barato con mejor respuesta que un cardioide bastante más caro.

4.4.4 Respuesta hipercardioide

La curva hipercardioide se representa en la figura 4.6. Queda descrita matemáticamente por la expresión 0'5 + cos ϑ, lo que equivale a la combinación de una curva omni atenuada 6 dB y una bidireccional. Su respuesta se sitúa a medio camino entre lo que es una forma de ocho y un cardioide, con un lóbulo trasero relativamente pequeño que está desfasado con respecto al lóbulo frontal. Su sensibilidad cae 3 dB para un ángulo de 55°. Al igual que se hace con los cardioides, esta respuesta polar se obtiene mediante laberintos acústicos en la parte posterior del diafragma. Debido a su elevada componente de gradiente de presión, también es bastante susceptible frente al efecto proximidad. Los micrófonos hipercardioides reales tienen respuestas polares que pueden considerarse «casi ideales». El hipercardioide tiene la relación

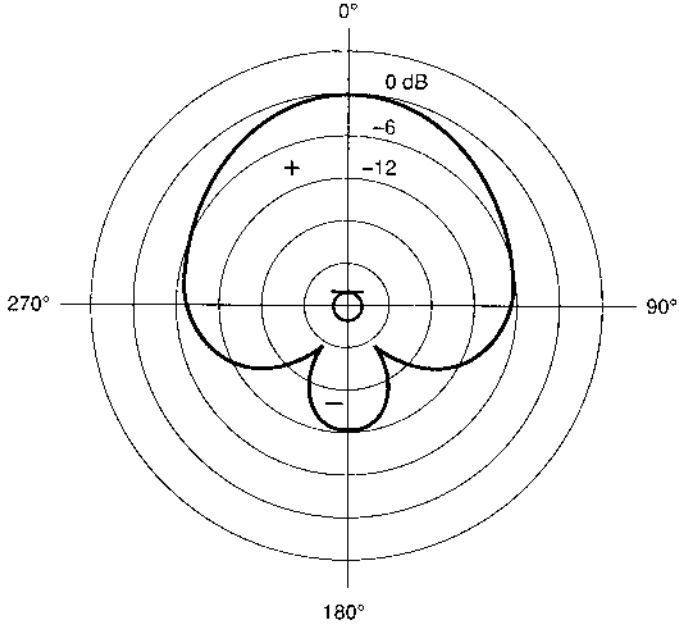


Figura 4.6 Diagrama polar ideal de un micrófono hipercardioide.

más alta entre sonido directo y sonido reverberante de todos los tipos de respuestas descritas hasta ahora, lo que significa que la relación entre el nivel de un sonido situado en el eje principal y el de los sonidos reflejados captados desde diferentes ángulos, es muy alta. Esta característica le hace especialmente interesante para evitar captar sonido no deseados, tales como el excesivo ambiente de una habitación, por ejemplo.

4.5 Micrófonos especiales

4.5.1 Micrófono de cañón

El micrófono de cañón recibe este nombre por estar construido en forma de un largo tubo de, aproximadamente, 1'9 cm de diámetro y alrededor de 60 cm de longitud, lo que le asemeja a un cañón de escopeta. Está diseñado en realidad como un micrófono cardioide normal al que se han practicado una serie de ranuras, de forma que el sonido que llega fuera del eje principal atraviesa estas ranuras a lo largo de todo el tubo. Esto hace que hasta la parte posterior del diafragma lleguen distintas «versiones» del sonido captado, con fases relativas que consiguen anularlo. De esta forma los sonidos captados fuera del eje principal se ven fuertemente atenuados con respecto a los situados en dicho eje. La figura 4.7 muestra la característica «forma de trébol» de su respuesta polar. Es un dispositivo extremadamente direccional, de uso muy extendido entre los reporteros de noticias, ya que permite apuntar directamente al orador que interesa, sin captar el ruido ambiente. Otras aplicaciones típicas son la grabación de sonidos en la naturaleza, transmisiones deportivas, toma de sonido en escenarios teatrales, etc. Cuando se prevé su uso en exteriores, al micrófono de cañón se le aloja dentro de un forro antiviento alargado, de paredes gruesas, con aspecto de un gran cigarro puro. Existen versio-

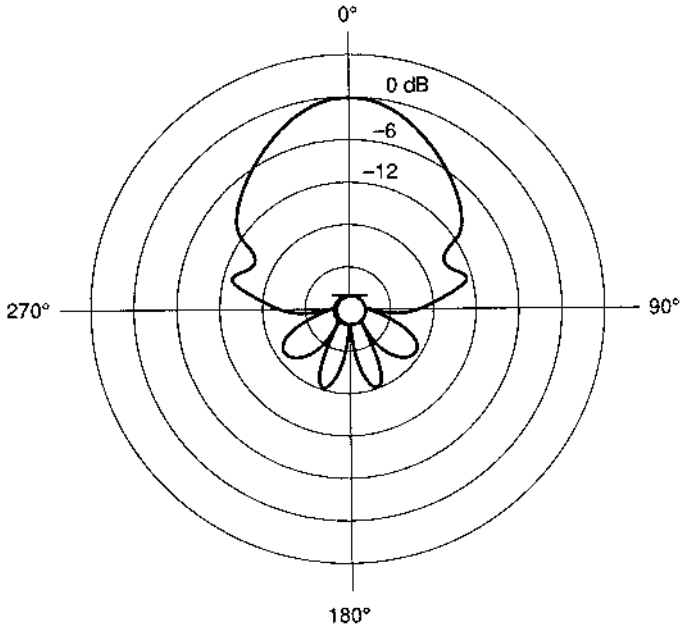


Figura 4.7 Diagrama polar típico de un micrófono superdireccional.

nes de este tipo de micrófono con la mitad de longitud, y cuya respuesta polar está a medio camino entre la de «forma de trébol» y el hipercardioide. Todas las versiones suelen tener, no obstante, una buena captación a frecuencias bajas.

4.5.2 Micrófono con reflector paraboloide

Un método alternativo para lograr una alta directividad es usar un reflector paraboloide, como se representa en la figura 4.8. El reflector tiene un diámetro aproximado entre 0'5 y 1 m, y es en su foco donde se coloca un micrófono direccional. Con este sistema se crea una gran «area de captación» que se concentra en la cabeza del micrófono. Se obtienen ganancias típicas de alrededor de 15 dB pero la curva de respuesta cae para las frecuencias más bajas, donde la longitud de la onda sonora resulta comparable con el diámetro de la parábola. Se consiguen niveles de salida comparativamente altos de fuentes sonoras distantes, debido a que este dispositivo, en lugar de rechazar sonidos que no estén en la dirección del eje principal, lo que hace en realidad es concentrar ondas sonoras. Resultan muy útiles en la grabación de cantos de pájaros y, en general, en cualquier aplicación que requiera captar sonidos a larga distancia. Son difíciles de manejar en medio de una multitud de personas y pueden producir sonido coloreado.

4.5.3 Micrófono de zona de presión

El denominado micrófono de zona de presión (MZP) consta básicamente de una cápsula de micrófono omnidireccional montada sobre un plato de unos 15 cm de diámetro, de forma tal que la cápsula apunta directamente al plato y está separada de él unos 2 ó 3 milímetros. El plato está pensado para que pueda ser colocado sobre una gran superficie plana como puede ser una pared, el suelo o la parte inferior de la tapa de un piano, por ejemplo. Su res-

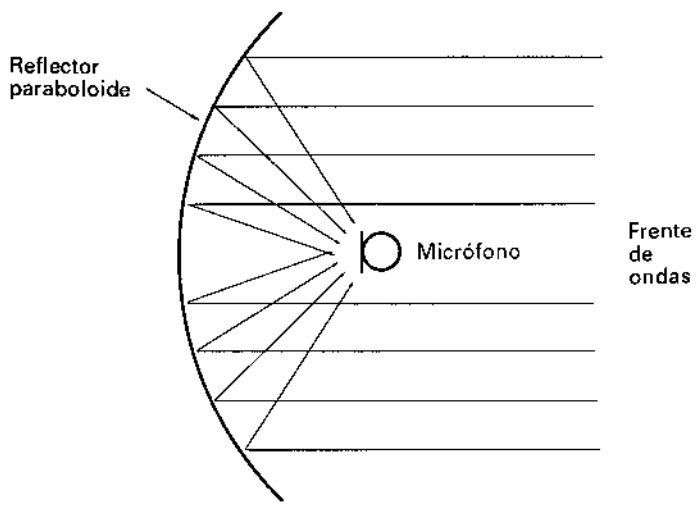


Figura 4.8 Por medio de un reflector paraboloide se consigue a veces captar un frente de ondas y «enfocarlo» hacia el micrófono, haciendo la respuesta del conjunto muy direccional.

puesta polar es hemisférica. Debido a que la cápsula del micrófono es una simple omnidireccional, pueden conseguirse versiones con bastante buena calidad de sonido y a buen precio utilizando cápsulas electret; el que quiera experimentar con este inusual tipo de micrófono puede hacerlo sin que le suponga un gran desembolso inicial. Es importante recordar, sin embargo, que a pesar de su aspecto no es un micrófono de contacto –el plato por sí mismo no es un transductor de vibraciones superficiales– y se debe usar siendo consciente de que es equivalente a un micrófono omnidireccional ordinario orientado hacia una superficie plana muy próxima a él. La respuesta en frecuencia de este micrófono no suele ser tan plana como la de un omnidireccional normal pero admite usos con pretensiones discretas.

4.6 Micrófonos con varios tipos de respuesta

El micrófono de condensador con doble diafragma como el mostrado en la figura 4.9, es un micrófono en el que se emplean dos diafragmas idénticos colocados a ambos lados de una lámina rígida central como si se tratara de un emparedado. Las perforaciones practicadas en la lámina central proporcionan a ambos diafragmas una respuesta fundamentalmente cardioide. Cuando la tensión de polarización de ambos diafragmas es la misma, la salida eléctrica del conjunto constituye una respuesta omnidireccional puesto que ambos cardioides se combinan en fase. Cuando el voltaje de polarización de un diafragma es opuesto al del otro y el potencial de la lámina central está a medio camino entre los otros dos potenciales, la salida del conjunto constituye una respuesta de figura de ocho, o bidireccional, (los dos cardioides están en contrafase entre sí). Jugando con otras combinaciones intermedias se consiguen respuestas cardioides e hipercardioides. De esta forma se dispone de un micrófono cuya respuesta polar se puede ajustar, bien sea por medio de conmutadores sobre el propio micrófo-

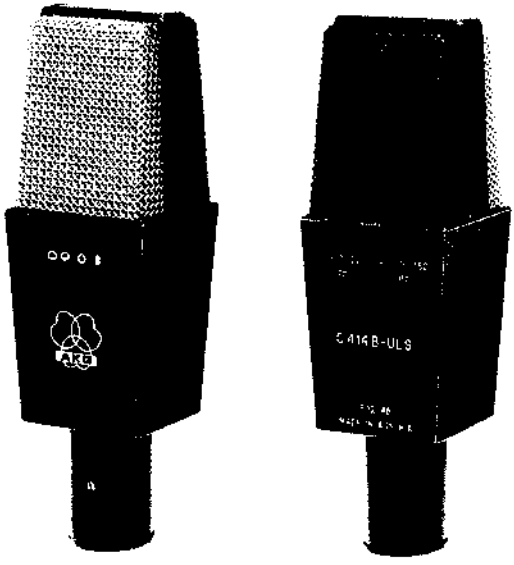


Figura 4.9 Micrófono de condensador típico de doble diafragma con selección de distintos tipos de respuestas polares: el modelo C414B-ULS, de AKG. (Cortesía de AKG Acoustics Ltd.)

no o a través de algún dispositivo de control remoto. Algunos de estos micrófonos consiguen los diferentes tipos de respuesta empleando un único diafragma convencional, alrededor del cual se sitúan unos oportunos laberintos mecánicos que pueden ser conmutados para variar el tipo de respuesta.

Otro método que han utilizado los fabricantes es construir una carcasa con cápsulas desmontables de forma que, por ejemplo, pueda destornillarse una cápsula cardioide y sustituirse por otra omnidireccional. Esto permite también intercalar entre la cápsula y el cuerpo principal del micrófono tubos de extensión con extremos roscables, hasta conseguir «cañas» de hasta un metro de longitud. El cuerpo del micrófono se monta sobre una pequeña peana y por medio de la caña se consigue situar la cápsula a la altura necesaria ofreciendo el aspecto visual de un pie de micrófono discreto.

4.7 Micrófonos estéreo

Los micrófonos estéreo, como el ejemplo mostrado en la figura 4.10, están formados por dos micrófonos alojados dentro de una única carcasa con una de las cápsulas capaz de girar con respecto a la otra a fin de que pueda ajustarse el ángulo entre las dos. Al mismo tiempo puede conmutarse cada cápsula para seleccionar el tipo de respuesta polar que se desee. Se puede, por tanto, ajustar el micrófono para conseguir un par de figuras de ocho formando entre sí un ángulo de, digamos, 90°, o bien un par de cardioides a 120°, etc. Algunos micrófonos estéreo, como es el caso del representado en la figura 4.11, están configurados mediante algoritmos de suma/diferencia, en lugar de pares izquierda/derecha; en este caso la cápsula «suma» se orienta hacia adelante y la cápsula «diferencia», con forma de figura de ocho, se orienta hacia los laterales. Las señales suma y diferencia, o M y S («middle and side», central y lateral), se combinan en una matriz para obtener la señal estéreo izquierda/derecha: el canal izquierdo se consigue sumando M y S, y el canal derecho restándolas. Este método se trata con más detalle en la Ficha Temática 4.5.

Un ejemplo de micrófono estéreo más sofisticado es el AMS/Calrec Soundfield, representado en la figura 4.12. En este diseño se dispone de cuatro cápsulas «subcardioides» (entre

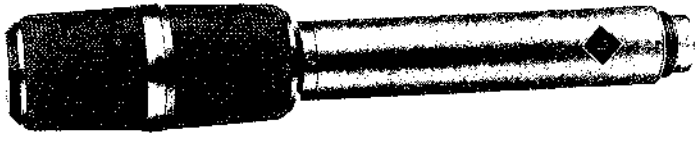


Figura 4.10 Ejemplo de micrófono estéreo típico: el Neumann, modelo SM69. (Cortesía de FWO Bauch Ltd.)

FICHA TEMÁTICA **4.5**

Toma de sonido M & S

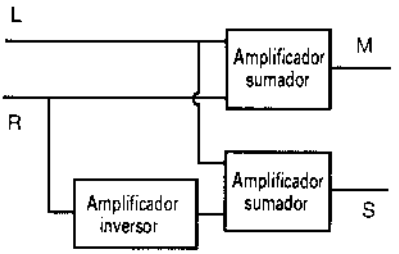
Las señales MS pueden convertirse fácilmente al modo estéreo convencional, ya sea utilizando un mezclador de tres canales o mediante una matriz eléctrica. M es la suma mono de dos canales estéreo convencionales y S es la diferencia entre los mismos. O sea:

$$M = (L + R) \div 2$$
$$S = (L - R) \div 2$$

y

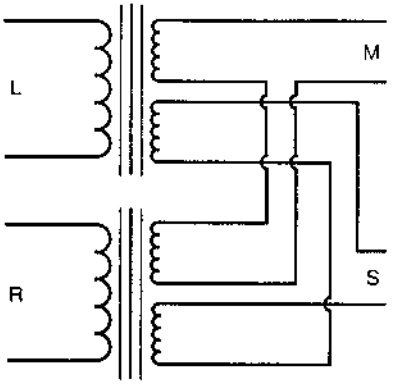
$$L = (M + S) \div 2$$
$$R = (M - S) \div 2$$

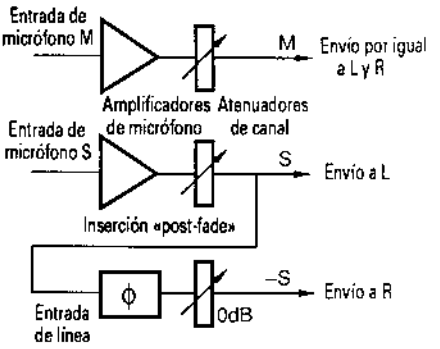
Para obtener tanto el valor M&S a partir del LR como viceversa, pueden emplearse un par de transformadores con las conexiones que se indican en la siguiente figura. Como alternativa también sirve una pareja de amplificadores sumadores con las entradas M y S (o L y R) conectadas a uno de ellos en fase



(para sumar) y al otro en contrafase (para restar).

La opción del mezclador de tres canales se representa también en el diagrama adjunto. En este caso la señal M se envía por igual a las salidas L y R, mientras que la señal S se envía únicamente al canal izquierdo (M + S = L). A continuación se extrae la señal «post-fade» del canal S y se envía a un tercer canal, trabajando con fase inversa, en cuya salida tendremos la señal -S; la ganancia de este canal se ajusta a 0 dB y se envía únicamente al canal derecho (M - S = R). Variando el nivel de la señal S mediante el atenuador («fader») de su canal, se modifica el ancho de la imagen estéreo y la cantidad de señal procedente de la parte trasera.





omnidireccional y cardioide) colocadas formando un tetraedro, de manera que sus salidas pueden combinarse de varias formas para obtener cuatro respuestas diferentes, denominadas «formato B». La salida «en bruto» de las cuatro cápsulas se denomina «formato A». Las cuatro señales de formato B son: forma de ocho con eje frontal «X», forma de ocho con eje lateral «Y», forma de ocho con eje vertical «Z» y salida omnidireccional «W». Todas ellas pueden

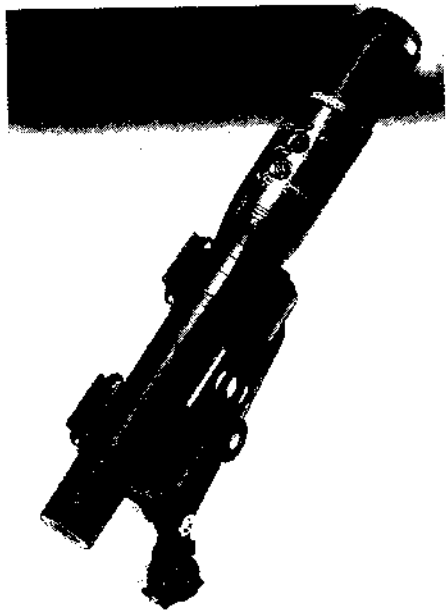


Figura 4.11 Ejemplo de micrófono estéreo del tipo «M&S»: el Shure, modelo VP88. (Cortesía de HW International).

Figura 4.12 Micrófono AMS Soundfield y su correspondiente unidad de control. (Cortesía de AMS Industries PLC).

Figura 4.13 El micrófono ST250 de AMS está basado en los principios del campo sonoro «Soundfield», y puede operar tanto en «end-fire» como en «side-fire» o «upside-down», con ayuda de una matriz eléctrica que combina las cápsulas dentro de la unidad de control.

combinarse oportunamente para conseguir cualquier posible configuración de micrófono estéreo; cada canal puede ajustarse completamente para tener desde una respuesta «omni» hasta una cardioide o de figura de ocho. Los ángulos entre cápsulas también son ajustables. Se pueden controlar así mismo el ángulo de inclinación del micrófono y la «dominancia» (la relación de captación entre la parte frontal y la dorsal). Todas estas prestaciones se consiguen electrónicamente mediante una unidad de control remoto. Además, las señales en bruto del formato B pueden grabarse por separado en un magnetófono de cuatro canales para reproducirlas más tarde a través de la propia unidad de control en la que podrán ser seleccionados después de la grabación todos los parámetros mencionados anteriormente.

La firma AMS ha fabricado un micrófono de segunda generación basado en los principios del campo sonoro. Se trata del modelo ST250, de pequeño tamaño, que puede ser usado tanto en «end-fire» como en «side-fire» (ver figura 4.13). Puede invertirse electrónicamente y su respuesta es variable.

4.8 Uso práctico de los micrófonos

Los micrófonos profesionales entregan una salida balanceada de baja impedancia, por lo general mediante un conector del tipo XLR-3 (tres terminales) colocado en su base. Su baja impedancia, normalmente de 200 ohmios aunque puede ser menor, permite utilizar tiradas de cable bastante largas. Al mismo tiempo, la configuración balanceada, que se tratará en la sección 13.4, ofrece una considerable inmunidad frente a interferencias. Otros parámetros a considerar son la sensibilidad (ver Ficha Temática 4.6) y el ruido (ver Ficha Temática 4.7).

4.8.1 Sensibilidad de un micrófono

La consecuencia de que los micrófonos tengan diferentes valores de sensibilidad es que, por ejemplo, se necesita una mayor amplificación para obtener nivel de línea a partir de micrófonos de cinta o de bobina móvil que la que se necesita para un micrófono de condensador. Un micrófono de cinta captando una conversación puede entregar, digamos, 0'15 mV. Para elevar este valor hasta nivel de línea (775 mV) se necesita una amplificación de 5160 veces, o sea, una ganancia de 74 dB. Esta es una cantidad muy elevada y limita la respuesta del equi-

FICHA TEMÁTICA 4.6

Sensibilidad de un micrófono

La sensibilidad de un micrófono es una indicación de la salida eléctrica que se obtiene para un determinado nivel de presión sonora (SPL). El SPL estándar puede ser 74 dB (=1 µB, un microbar) o bien 94 dB (=1 Pascal ó 10 µB). El segundo nivel es simplemente diez veces mayor que el primero, de forma que resulta fácil hacer comparaciones entre diferentes modelos. El valor 74 dB corresponde, aproximadamente, al nivel de una conversación medianamente alta a un metro de distancia. Esta cifra es diez veces mayor (20 dB) que la anterior; por tanto, un micrófono de sensibilidad 1 mV μB^{-1} entregará 10 mV cuando esté sometido a un campo sonoro de 94 dB. Otra forma de especificar la sensibilidad consiste en mencionar la salida diciendo que está tantos decibelios por debajo de un cierto voltaje, para un determinado SPL. Por ejemplo, un micrófono de condensador puede tener una cifra de sensibilidad de –60 dBV Pa^{-1}, lo que significa que su nivel de salida está 60 dB por debajo de 1 voltio, para 94 dB de SPL: esto equivale a 1 mV (60 dB = 1000 veces).

Los micrófonos de condensador son el tipo más sensible, con valores entre 5 y 15 mV Pa^{-1}: sometidos a un nivel de presión sonora de 94 dB entregan señales de entre 5 y 15 mV. El tipo menos sensible son los micrófonos de cinta, con valores típicos de 1 - 2 mV Pa^{-1} (15 ó 20 dB por debajo de los de condensador). En un término medio se sitúan los de bobina móvil, con sensibilidades comprendidas entre 1'5 y 3 mV Pa^{-1}.

FICHA TEMÁTICA 4.7

Representación del ruido de un micrófono

Todos los micrófonos generan ruido inevitablemente. La forma más común de expresar el ruido de un micrófono de condensador es mediante su propio *nivel equivalente de ruido* con ponderación «A». Un valor típico para micrófono de condensador de alta calidad se sitúa alrededor de 18 dBA. Esto significa que el voltaje de salida correspondiente a su propio ruido es equivalente al que tendría ese mismo micrófono sometido a un nivel sonoro de 18 dBA. Un nivel equivalente de ruido de 25 dBA se considera bastante alto, y si se utilizase un micrófono con esta características para grabar una conversación a una distancia de un par de metros, el «soplo» de fondo podría apreciarse en la grabación. Los mejores micrófono de condensador consiguen valores de 12 dBA.

A la hora de comparar distintos micrófonos conviene asegurarse de que los niveles de ruido están dados en las mismas unidades. Algunos fabricantes ofrecen una gran variedad de cifras tomadas todas ellas utilizando diferentes sistemas de ponderación y equipos de medidas con distintas características. No obstante, suele ser común utilizar la referencia de ponderación A. Así mismo, la *relación señal/ruido* se representa a menudo con respecto a la referencia 94 dB de SPL. Su valor es la diferencia entre 94 y la cifra del nivel equivalente de ruido con ponderación A. Así, un micrófono con nivel equivalente de ruido de 18 dBA tendrá una relación señal/ruido de 76 dBA, para un SPL de 94 dB (94 - 18 = 76); esta es una manera bastante común de expresar el ruido.

po frente al ruido, al mismo tiempo que se producirá una considerable amplificación de cualquier interferencia que consiga meterse en los cables de micrófono.

Consideremos ahora la grabación de la misma conversación, pero captada con un micrófono de condensador con sensibilidad de 1 mV μB^{-1}. En este caso es necesaria una ganancia de tan solo 775 veces, ó 57 dB, para elevar la señal a nivel de línea, lo que significa que muchas interferencias podrán ahora pasar desapercibidas y la respuesta frente al ruido no estará tan

limitada. Esto no quiere decir que deban utilizarse siempre micrófonos de condensador debido a su elevado nivel de salida, pero el ejemplo sirve para ilustrar la idea de que son necesarios mezcladores y cables de buena calidad si se quieren conseguir las mejores prestaciones de los micrófonos de bajo nivel de salida.

4.8.2 Ruido de un micrófono

El ruido de un micrófono de condensador se debe fundamentalmente al que genera el preamplificador situado en el propio cuerpo del micrófono. Podría pensarse que los micrófonos de cinta y de bobina móvil no deben generar ruido, al ser elementos completamente pasivos. Sin embargo esto no es así, puesto que una resistencia de 200 ohmios a temperatura ambiente genera un ruido de 0'26 μV (microvoltios) entre 20 Hz y 20 kHz. El ruido en los micrófonos pasivos se debe, por tanto, a la excitación térmica de los portadores de carga en la cinta o en la bobina móvil, así como en el propio cableado del transformador de salida. Para entender qué significa esto en términos de nivel equivalente de ruido, y poder comparar así los micrófonos de cinta y los de bobina con los de condensador, debe buscarse una relación con la sensibilidad.

Tomemos un micrófono de bobina móvil con sensibilidad de 0'2 mV μB^{-1}, que equivale a 2 mV para 94 dB de SPL. El ruido es 0'26 μV ó 0'00026 mV. La relación señal/ruido se obtiene dividiendo la sensibilidad entre el ruido:

$$2 \div 0'00026 \approx 7600$$

y expresando esto en decibelios:

$$dB = 20 \log 7600 = 77\ dB$$

Esta es una cifra *sin ponderar*; la ponderación A la mejorará en un par de dB. Como el amplificador al que se conecta el micrófono añadirá también algo de ruido, podemos dejar esta cifra como está para hacer una comparación aproximada con el ejemplo del condensador. (Debido a que el nivel de salida de los micrófonos de condensador es mucho mayor que los de bobina móvil, el ruido del amplificador de micrófono del mezclador puede no tenerse en cuenta en esta discusión. El ruido generado por un micrófono de condensador es mucho mayor que el generado por cualquier buen previo de micrófono o por cualquier otro tipo de cápsula.)

Un micrófono de bobina móvil con una sensibilidad de 0'2 mV μB^{-1} tendrá, por tanto, una relación señal/ruido de 77 dB, y un nivel equivalente de ruido de 94 - 77 = 17 dB, que es comparable con uno de condensador de buena calidad (suponemos que se han utilizado previos de micrófono de alta calidad). Por su parte, un micrófono de cinta de 200 ohmios de impedancia puede tener una sensibilidad de 0'1 mV μB^{-1}, 6 dB menos que en el ejemplo anterior. Como la impedancia es la misma en ambos casos (200 ohmios) el ruido térmico será aproximadamente igual, con lo que el nivel equivalente de ruido será ahora 6 dB peor, o sea, 23 dB. Este valor puede considerarse aceptable para grabaciones de palabra y para música clásica, siempre y cuando se utilice un previo de micrófono de extremadamente bajo ruido, para no empeorar esta cifra.

Andar discutiendo sobre un par de decibelios arriba o abajo puede parecer un poco pedante, pero el hecho es que no pueden aceptarse cifras de nivel equivalente de ruido muy superiores a 20 dB, si se quiere grabar tanto un discurso como una música clásica suave. Para un tipo de música «con más volumen», como es el caso de la música «rock» suelen situarse los micrófonos muy próximos a las fuentes sonoras, de forma que se generan niveles de salida mucho más altos y el ruido no supone mayor problema. Pero estos niveles de salida tan altos en los micrófonos que se utilizan, por ejemplo, para baterías o para amplificadores de guita-

rras, pueden llegar a saturar los amplificadores de micrófono. Por ejemplo, si se emplease un micro de condensador para captar el sonido de un amplificador de guitarra, podrían llegar a generarse salidas de hasta 150 mV o más. Esto saturaría algunas entradas de micrófono de ganancia fija, lo que haría necesario el uso de un atenuador, en el propio canal del mezclador o del magnetófono, para reducir el nivel en unos 10-20 dB. Existen atenuadores fabricados dentro de una especie de tubo cilíndrico con conector XLR macho en un extremo y hembra en el otro. Se inserta simplemente entre el micrófono y la entrada del mezclador o del magnetófono, y debe situarse en el extremo más próximo a estas entradas para dejar que la señal llegue hasta ellas con el nivel más alto posible, evitando así posibles ruidos o interferencias.

4.9 Sistemas de alimentación de micrófonos

4.9.1 Alimentación «phantom» o fantasma

Conociendo el funcionamiento de los micrófonos de condensador, queda clara la necesidad de proporcionar una alimentación para los circuitos electrónicos alojados dentro de la propia carcasa del micrófono, así como para polarizar el diafragma en muchos de los tipos de condensador. Sería un claro inconveniente, y tal vez un problema, tener que incorporar conexiones adicionales al cable de micrófono para conectar esta tensión de alimentación. Se ha ideado para esto un ingenioso método que permite utilizar los propios conductores que transportan la señal de audio para aplicar el voltaje de CC necesario para el funcionamiento correcto del micrófono (de aquí el término «alimentación fantasma», puesto que la corriente continua resulta invisible para la señal de audio). Además, este sistema no impide que pueda conectarse a él un micrófono que no necesite circuito de alimentación. El principio de funcionamiento de la alimentación «phantom» se resume en la Ficha Temática 4.8.

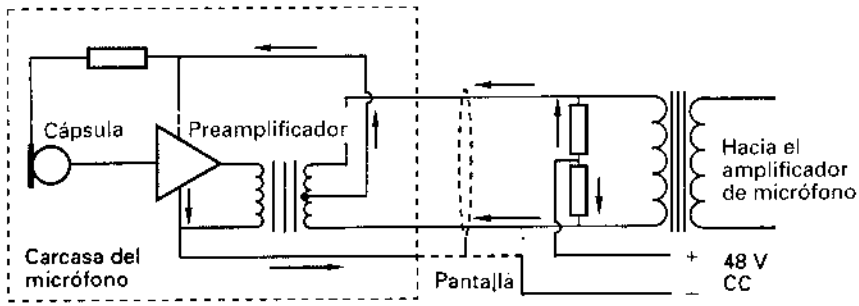
Puede verse que si, por ejemplo, se conectase un micrófono de cinta en lugar de uno de condensador, no circularía corriente alguna por él, puesto que no existirá ninguna toma central en su transformador de salida. Por tanto, a esta línea podrá conectarse sin ningún problema cualquier otro tipo de micrófono balanceado. Las dos resistencias de 6k8 son absolutamente necesarias, puesto que si se sustituyeran por dos simples cables conectados directamente a las líneas de audio, éstas quedarían cortocircuitadas y se anularía cualquier señal en ellas. La alimentación fantasma podría aplicarse sobre una toma central del transformador de entrada, pero si hubiese un cortocircuito entre una de las líneas del audio y la pantalla podrían dañarse el transformador y la fuente de alimentación «phantom», así como fusibles o cualquier otro componente. Las resistencias de 6k8 limitan la corriente a unos 14 mA, la cual no suele producir mayores problemas. El valor 6k8 se ha elegido de forma que sea lo suficientemente alto como para no cargar excesivamente el micrófono, y al mismo tiempo lo suficientemente bajo como para que la caída de tensión en sus extremos no evite que se apliquen prácticamente la totalidad de los 48 V. Veremos a continuación dos ejemplos reales que servirán para calcular cuál es la caída de tensión debida a esas dos resistencias.

En primer lugar, conviene hacer notar que la corriente circula por igual a través de las dos resistencias, por lo que puede decirse que están conectadas «en paralelo». Dos resistencias iguales en paralelo se comportan como una única resistencia de valor la mitad; por tanto, a efectos de la tensión de alimentación de 48 V, estas dos resistencias pueden verse como una sola de valor 3k4. La Ley de Ohm (ver Ficha Temática 1.1) determina que la caída de tensión en un componente resistivo es igual a su resistencia multiplicada por la corriente que la atraviesa. En el caso de micrófono Calrec 1050C la corriente que atraviesa las resistencias es de 0'5 mA (= 0'0005 amperios), por tanto, la caída de tensión es de 3400 × 0'0005 = 1'7 voltios. Así pues, el micrófono recibe una tensión de 48 - 1'7 = 46'3 V. Si

FICHA TEMÁTICA **4.8**

Alimentación «Phantom»

El siguiente esquema ilustra el principio de la alimentación fantasma. Las flechas indican el camino que recorre la corriente de alimentación «phantom» (ver sección 13.4 para más detalles sobre líneas balanceadas). En este caso se emplea una tensión continua (CC) de 48 V de la siguiente manera: el voltaje se aplica, a través de sendas resistencias de 6800 (6k8) ohmios, entre las dos líneas que transportan audio dentro del cable de micrófono. La corriente de alimentación recorre estas líneas y llega al micrófono. El secundario del transformador de salida del micrófono debe disponer bien de una toma central en su devanado –según se muestra en el esquema–, o bien de dos resistencias, conectadas según se ha hecho para el otro extremo de la línea. De esta forma, la corriente circula por las dos líneas hacia el centro del devanado y de ahí hacia el diafragma y el circuito del preamplificador. La vía de retorno de la corriente se cierra a través del apantallado del cable de micrófono.



consideramos el caso de un micrófono Shoeps CMC-5 la corriente es de 4 mA y la caída de tensión de 3400 × 0'004 = 13'6 V. El micrófono recibe una alimentación de 48 - 13'6, o sea 34'4 V. El fabricante tiene normalmente en cuenta esta caída de tensión a la hora de diseñar el micrófono. Sin embargo, existen ejemplos de micrófonos que consumen tanta corriente que llegan a cargar la fuente de alimentación «phantom» del mezclador hasta el punto de no permitir un funcionamiento correcto del micrófono. En algunos de estos casos los micrófonos producen demasiado ruido o incluso oscilaciones, y en otros ni siquiera funcionan. La solución a este problema puede ser una fuente de alimentación independiente o una batería.

El valor estándar universal es 48 voltios, pero algunos micrófonos de condensador son diseñados para operar con voltajes de hasta 9 voltios. Esto constituye una ventaja, por ejemplo, cuando se utilizan equipos alimentados con baterías o se trabaja en exteriores lejos de una fuente de alimentación apropiada.

La figura 4.14 ilustra la situación de una alimentación fantasma para el caso de utilizar circuitos balanceados electrónicamente en lugar de mediante transformadores. Los condensadores que aparecen en el esquema bloquean el voltaje de continua procedente de la fuente de alimentación al mismo tiempo que presentan una baja impedancia frente a la señal de audio.

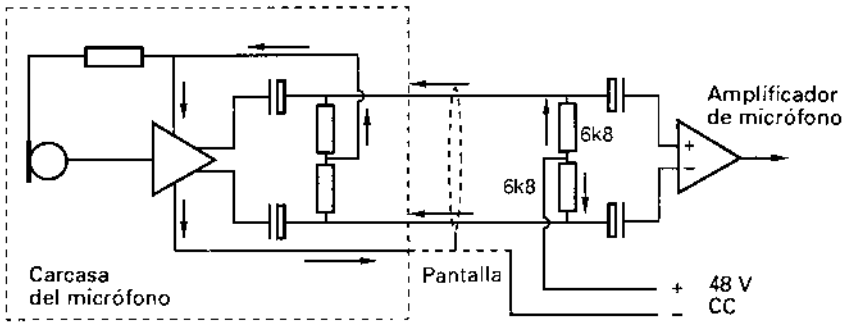


Figura 4.14 Configuración típica de una alimentación «phantom» de 48 V, en un circuito balanceado electrónicamente.

4.9.2 Alimentación A-B

Otra tipo de alimentación utilizada a veces para micrófonos de condensador es la denominada alimentación A-B. La figura 4.15 representa esquematicamente este sistema. En este caso la alimentación se aplica a una de las líneas de audio a través de una resistencia y llega hasta el circuito de micrófono a través de otra colocada en este extremo de la línea. El retorno se hace a través de la otra línea, según indican las flechas. Con este sistema no se utiliza la malla del cable para transportar ninguna corriente. En el centro de los bobinados de cada transformador se coloca un condensador, que impide el paso de la corriente continua y evita así que se produzcan cortocircuitos a través de los bobinados. Estos condensadores presentan una muy

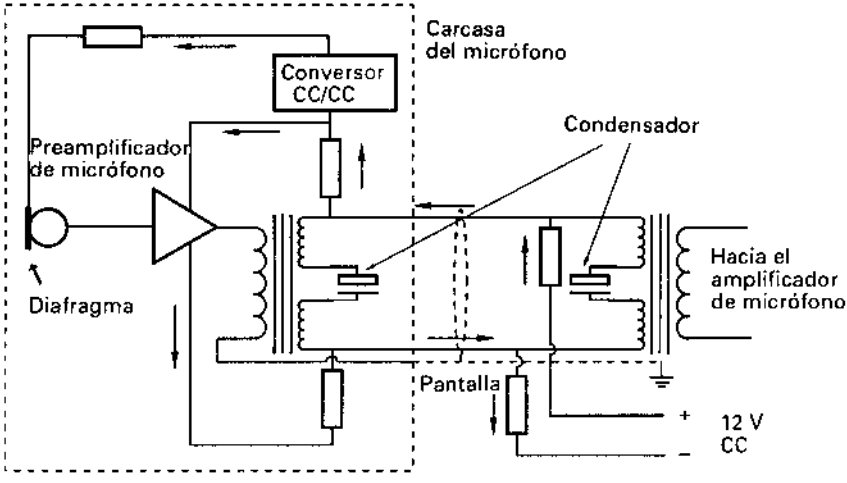


Figura 4.15 Configuración típica de un sistema de alimentación A-B de 12 voltios.

baja impedancia frente a las frecuencias de audio y para éstas es como si no existieran. El voltaje utilizado normalmente en este sistema es de 12 voltios.

Aquí, como en el caso de la alimentación «phantom», se utilizan las propias líneas de micrófono para transportar la corriente de alimentación; sin embargo, en este caso sí es peligroso conectar otro tipo de micrófono en lugar del que se representa en la figura. Si, por ejemplo, se conectase un micro de cinta su transformador de salida cortocircuitaría la corriente de alimentación. Así pues –y esto es una clara desventaja frente a la alimentación «phantom»– las fuentes de alimentación A-B de 12 voltios deben anularse por completo antes de conectar cualquier otro tipo de micrófono. Este sistema se emplea con más frecuencia en equipos de grabación de sonido para cine.

4.10 Micrófonos inalámbricos

Los micrófonos inalámbricos, o «radiomicrófonos», se utilizan muy a menudo en producciones de cine, radio, televisión, teatro y cualquier otra aplicación en la que resulte útil la libertad que supone el no emplear cables en la unión del micrófono con el resto del equipo.

4.10.1 Principios de funcionamiento

Un sistema de micrófono inalámbrico consta de un micrófono normal, un transmisor de FM (Frecuencia Modulada) –ya sea incluido dentro de la propia carcasa del micrófono o como unidad independiente a la que se conecta éste–, una antena corta, a través de la cual se transmite la señal, y un receptor diseñado para recibir la señal de un determinado transmisor. Cada receptor es capaz de recibir una sola frecuencia. La salida de audio del receptor se envía a un mezclador o magnetófono, de la misma manera en que se haría con cualquier otra fuente a nivel de línea o de micro. El principio de funcionamiento se representa en la figura 4.16.

El transmisor puede estar alojado dentro del propio cuerpo del micrófono o puede ser una unidad independiente, del tamaño aproximado de una caja de cigarrillos, a la que se conecta el micrófono o cualquier otra fuente de señal. Mediante una pequeña pila incluida en la propia caja del transmisor se suministra la energía necesaria para el funcionamiento del mismo, e incluso para el de una cápsula de condensador que pueda trabajar con 9 V. El transmisor es del tipo FM (ver Ficha Temática 4.9), que ofrece una buena calidad de audio.

En muchos casos son necesarios dos o más micrófonos inalámbricos. Cada transmisor debe utilizar una frecuencia diferente y la separación entre cada una de ellas debe ser suficiente como para que no se produzcan interferencias. En la práctica se utilizan canales con una separación mínima de 0'2 MHz. Aunque debe haber un único transmisor por cada frecuencia, pueden utilizarse cualquier número de receptores, como en el caso de una recepción de radio normal.

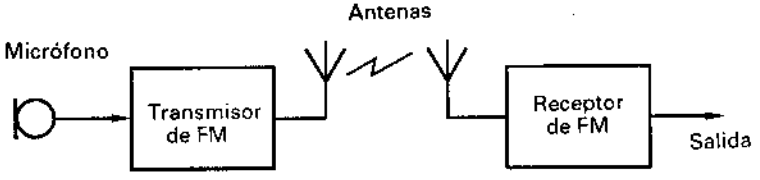


Figura 4.16 Un micrófono inalámbrico dispone de un transmisor de FM, que proporciona un enlace aéreo entre el micrófono y el mezclador.

FICHA TEMÁTICA 4.9

Modulación de frecuencia

En un sistema de FM el transmisor radia una onda de alta frecuencia (portadora) cuya frecuencia está modulada por la amplitud de la señal de audio (moduladora). El semiciclo positivo de esta señal produce un incremento de la frecuencia portadora y el semiciclo negativo hace que la portadora disminuya. En el receptor se desmodula la señal portadora modulada, convirtiendo sus variaciones de frecuencia en variaciones de amplitud, lo que constituye de nuevo la señal de audio.

Las señales de audio tienen un margen dinámico muy amplio y esto afecta al grado con que se modula la portadora. La desviación de la portadora debe mantenerse dentro de ciertos límites, y son los fabricante quienes especifican la desviación máxima permitida para sus transmisores. La desviación estándar para un transmisor con portadora de unos 175 MHz es ±75 kHz, lo que significa que el máximo nivel de audio que se quiera transmitir debe desplazar la frecuencia portadora entre 175'075 MHz y 174'925 MHz. El transmisor incorpora un limitador para asegurar que no se sobrepasen estos límites.

4.10.2 Características

Los transmisores disponen a menudo de prestaciones que el operador puede ajustar para obtener un correcto funcionamiento del equipo. Algunos incorporan un tono de 1 kHz que permite alinear niveles y comprobar la continuidad de toda la cadena. Los controles de ganancia de entrada también son muy útiles, por cuanto que hacen posible que el trasmisor trabaje con fuentes de micrófono y de línea de muy distintos niveles; un indicador del nivel de pico de entrada puede ayudar en este ajuste. Es importante regular correctamente el nivel de la señal de entrada puesto que una señal demasiado fuerte puede hacer que el limitador (ver sección 14.2) entre en acción la mayor parte del tiempo, lo que trae consigo ruidos de compresión y «petardeo» cada vez que el compresor funciona. Por el contrario, si la señal es demasiado débil no será suficiente para excitar los equipos y resultará una relación señal/ruido muy pobre.

El receptor debe tener un indicador del nivel de la señal recibida. Esto es interesante para localizar «puntos muertos», en los que no es posible un buen enlace transmisor-receptor. Deben evitarse posiciones del transmisor que no ofrezcan buenas lecturas en este indicador; para ello se actuará variando la situación del transmisor o trasladando la antena receptora a un lugar que ofrezca mejores resultados. Otra prestación interesante es el indicador del estado de la batería en el transmisor. Cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto nivel el transmisor envía una señal inaudible al receptor que, a su vez, avisará de esta situación. El operador está advertido así de que la batería fallará pronto y dispondrá de unos 15 minutos de funcionamiento.

4.10.3 Concesión de frecuencias

Los equipos de transmisión precisan normalmente de una licencia para poder operar, y los gobiernos ejercen un rígido control sobre las bandas de frecuencias con las que puede trabajar un determinado usuario. Esto garantiza que las emisiones de radio locales o nacionales no interfieran las comunicaciones de la policía, bomberos o ambulancias, por ejemplo. En Reino Unido está prohibido que los micrófonos inalámbricos operen en la banda de 173'8 MHz a 175 MHz (estas frecuencias pueden variar de un país a otro). Cada «inalámbrico»

necesita una separación mínima entre frecuencias de 0'2 MHz, siendo las frecuencias más utilizadas 173'8, 174'1, 174'5, 174'8 y 175'0 MHz. Otra condición es que las frecuencias deben estar controladas mediante cristal de cuarzo, lo que asegura que no se desplacen más allá de unos ciertos límites. La potencia máxima de los transmisores está limitada a 10 mW (milivatios), lo que significa una potencia radiada en la antena de unos 2 mW; este es un valor muy bajo, pero suficiente para las distancias que suelen cubrir los micrófonos inalámbricos.

En muchos espectáculos musicales son necesarios más canales de micrófono inalámbrico de los que por ley están disponibles. Las televisiones pueden hacer uso a veces de una banda de frecuencias adicional para sus micrófonos inalámbricos, puesto que algunas tienen concedidos canales de TV que, a su vez, son ocupados por inalámbricos.

4.10.4 Antenas

Las dimensiones de la antena transmisora están directamente relacionadas con la longitud de onda de la frecuencia que transmite. En un conductor eléctrico la longitud de onda (λ) correspondiente a una frecuencia de 174'5 MHz es, aproximadamente, 1'60 metros. Para trasladar esto a términos de longitud de antena es necesario conocer cómo resuena una señal en un conductor genérico.

Consideremos una antena dipolo simple, como la de la figura 4.17. Consta de dos varillas conductoras, cada una de longitud igual a un cuarto de onda ($\lambda/4$), alimentadas por la señal procedente del transmisor. El punto central de las dos varillas se denomina punto nodal, y presenta una impedancia característica de unos 70 ohmios. Para un inalámbrico necesitamos una longitud total de $\lambda/2 = 160 / 2 = 80$ cm.

Un dipolo de 80 cm resonará, por tanto, para la banda de frecuencias mencionada anteriormente, ofreciendo una buena radiación; la longitud exacta no es un valor crítico. Debe tenerse también en cuenta el diagrama polar de radiación (que no tiene nada que ver con la respuesta polar del micrófono). La figura 4.18 muestra el diagrama polar de radiación de un dipolo. Como puede verse, se trata de una forma de ocho cuya dirección de radiación nula

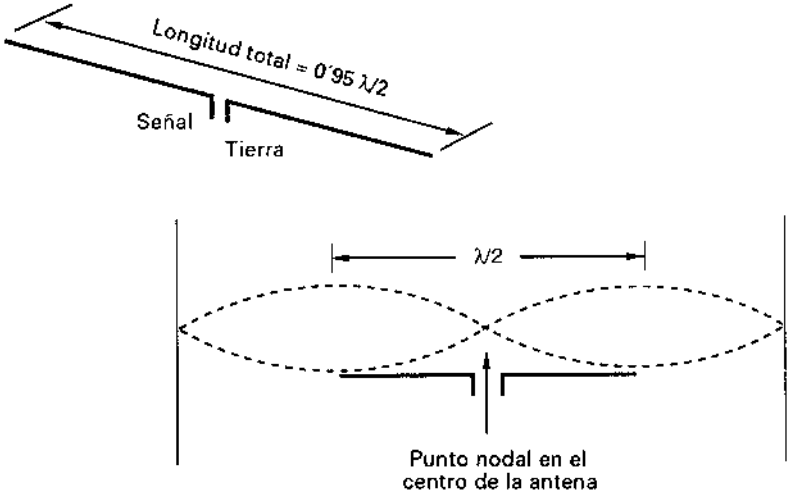


Figura 4.17 Configuración de una antena dipolo simple.

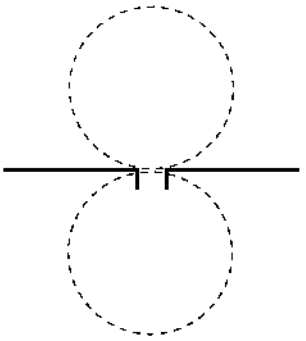


Figura 4.18 El dipolo tiene un diagrama polar de radiación con forma de ocho.

coincide con la dirección de las varillas del dipolo. Otro factor a tener en cuenta es la polarización de la señal. Las ondas electromagnéticas están formadas por una onda eléctrica más una onda magnética que radian formando entre sí angulos rectos. Por tanto, si una antena transmisora está orientada verticalmente, la receptora debe estar orientada de la misma manera. Esto es lo que se denomina polarización vertical.

Nuestro transmisor tendrá, por tanto, una antena de unos 40 cm, la mitad del dipolo. La otra mitad la proporciona la malla del cable de entrada, que en la práctica será mayor de 40 cm. La primera «media antena» se considera la antena correcta, y normalmente cuelga en posición vertical. El cable apantallado que alimenta la antena subirá generalmente en vertical, si bien algunas consideraciones prácticas tienden a despreciar su función como parte del sistema radiante.

Otro tipo de antena utilizada a menudo en los micrófonos inalámbricos de mano es la antena helicoidal. Su longitud típica está por debajo de 20 cm y tiene un diámetro aproximado de 1 cm. Sale de la propia base del micrófono y consta de una fina bobina de cable flexible, forrada con un aislante de plástico. Tiene la ventaja de su pequeño tamaño y de soportar bien el uso continuado. Su eficiencia en radiación es, no obstante, algo peor que la del cable de 40 cm. En el receptor se necesita una antena similar. Su forma y pequeño tamaño hacen a la antena helicoidal muy apropiada para las producciones de radio y TV en exteriores y para equipos de rodaje. Otra opción, algo más pesada y voluminosa, puede ser un tubo metálico de 40 cm de longitud, parecido al que se utiliza como antena en automóviles; ésta es mejor receptora que las anteriores.

Además de los mencionados aquí, existen otras posibles combinaciones de antenas que ofrecen mayor ganancia y mejor directividad. En la antena de dos elementos de la figura 4.19 el reflector es ligeramente más largo que el propio dipolo y se encuentra desplazado detrás de éste una distancia tal que produce la reflexión de la señal, haciendo que vuelva de nuevo al dipolo. Esto aumenta la ganancia en 3 dB al mismo tiempo que atenua las señales captadas por la parte trasera y los laterales. Una antena «Yagi» de tres elementos, que debe el nombre a su inventor japonés, se representa en la figura 4.20. Se ayuda de un «director» y un «reflector» para rebajar la impedancia de un dipolo convencional; para ello se emplea un rectángulo muy alargado conocido como dipolo plegado, que por sí mismo tiene una impedancia de 300 Ω. Los otros dos elementos se sitúan de tal forma que la impedancia final queda reducida al valor estándar de 50 Ω. La Yagi de tres elementos es aún más direccional que el dipolo y tiene mayor ganancia. Puede se útil en condiciones de recepción muy difíciles o en casos en los que hay que captar señales a mucha distancia (imaginemos el caso de un escalador llevando un transmisor para narrar su ascensión a una montaña). Todos hemos visto en alguna ocasión las antenas Yagi multielementos con las que captamos las señales de TV de UHF.

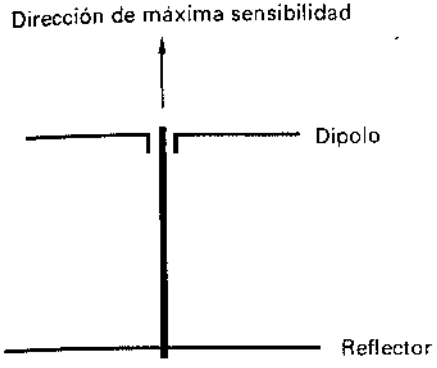


Figura 4.19 Una antena simple de dos elementos consta de un dipolo y un reflector, que mejora la directividad del dipolo.

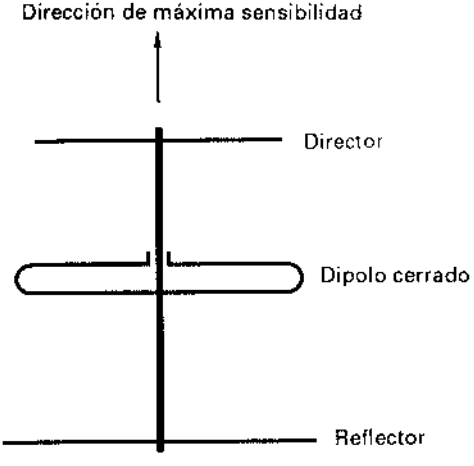


Figura 4.20 Configuración de una antena Yagi de tres elementos.

Estas antenas pueden usarse también para transmitir, siendo los principios de funcionamiento exactamente iguales. Su alta directividad ayuda a combatir los problemas derivados de las ondas indirectas reflejadas. Los elementos deben estar orientados en posición vertical, puesto que las antenas transmisoras tienen normalmente esa posición. La «dirección de máxima sensibilidad» (figuras 4.19 y 4.20) indica la dirección en la que deben orientarse las antenas.

Otra técnica para mejorar la relación señal/ruido con malas condiciones de recepción es, precisamente, reducir el ruido. Su funcionamiento es como sigue: dentro del transmisor hay un circuito que comprime la señal de audio de entrada, reduciendo su margen dinámico. En el receptor, después de la desmodulación, un circuito similar expande el audio aumentando los niveles más altos y atenuando los más bajos. Al devolver a su nivel las señales bajas se está reduciendo también la amplitud del ruido. Mediante este conjunto transmisor/receptor se pueden lograr resultados aceptables a partir de condiciones que anteriormente no permitían un enlace con buena calidad. Notese que este sistema no incrementa la potencia de la señal, y los problemas propios de la transmisión y recepción se mantienen (los sistemas de reducción de ruido se tratarán más adelante, en el Capítulo 9).

4.10.5 Conexionado y colocación de la antena

A menudo es deseable situar la antena receptora más próxima al transmisor que al propio receptor, para captar el máximo de señal. Para ello la antena se fija en una posición cercana al transmisor, como puede ser entre los bastidores de un teatro o en un palco, y a continuación se une al receptor mediante el correspondiente cable de antena. En estos casos debe tenerse en cuenta la impedancia característica de la antena. Como se discutirá en la sección 13.9.1, cuando la longitud de onda de la señal eléctrica en un conductor es similar a la longitud del propio conductor, pueden aparecer reflexiones en el extremo más próximo al receptor si el cable no está terminado correctamente. Así pues, debe cuidarse que exista una buena adaptación de impedancias entre la antena y el transmisor o receptor, además de utilizar un cable con la impedancia correspondiente.

El valor de impedancia normalizado para los equipos inalámbricos es 50 ohmios y, por tanto, deben adaptarse a este valor el transmisor, receptor, el cable de antena y los propios conectores. Este valor no puede medirse utilizando un simple polímetro. El cable de antena y la antena deben sintonizarse con ayuda de un medidor de ROE (Relación de Onda Estacionaria) que indica el nivel de la señal reflejada. El cable de antena debe ser de muy buena calidad, del tipo de bajas pérdidas, o de lo contrario la ventaja que supone colocar la antena próxima al transmisor se verá desperdiciada por las pérdidas de señal a lo largo del cable. Cuando se recibe una señal muy pobre esto se traduce en ruido, puesto que el receptor lleva incorporado un dispositivo, denominado Control Automático de Ganancia (CAG), que ajusta la amplificación de la frecuencia portadora en función del nivel recibido. Las señales débiles requieren valores más altos de amplificación, lo que significa aumentar también el ruido.

El uso de varios micrófonos inalámbricos exige tener también un número adicional de receptores que necesitan todos ellos un acoplamiento de antena. Es una práctica común emplear una única antena conectada a la entrada de un amplificador/distribuidor de antena. Esta unidad de distribución tiene varias salidas que pueden llevarse a cada receptor. No es posible

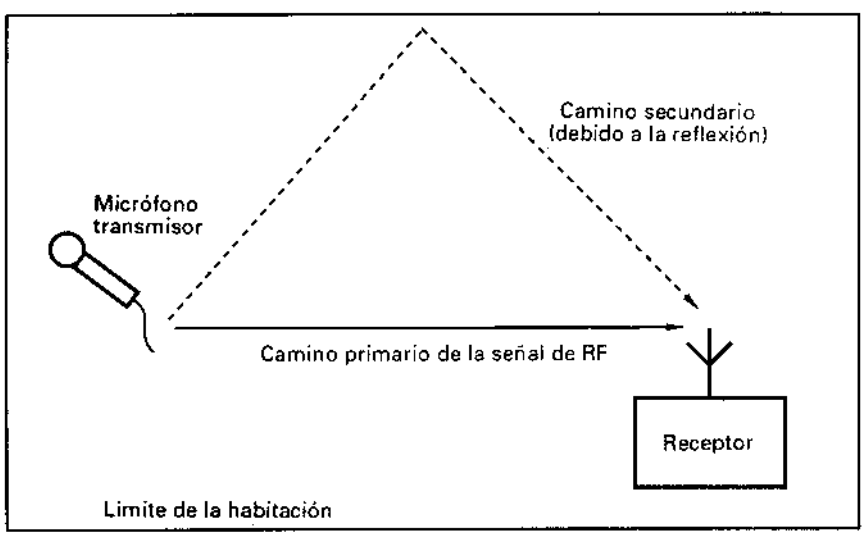


Figura 4.21 Debido a las reflexiones, puede producirse distorsión entre transmisor y receptor.

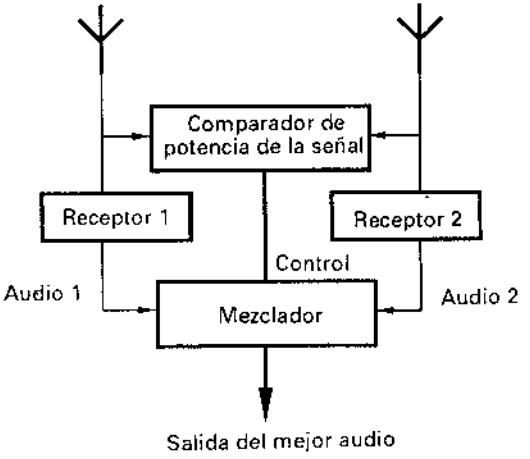


Figura 4.22 Un receptor «diversity» dispone de dos antenas separadas entre sí y dos receptores. La potencia de la señal recibida en cada antena se utiliza para decidir qué salida tendrá la mejor calidad.

simplemente conectar una antena en paralelo a todas las entradas, debido a la desadaptación de impedancias que esto supondría.

Además de las dificultades obvias que suponen las estructuras metálicas entre transmisor y receptor, existen dos fenómenos que hacen que la recepción de la señal de radio no sea del todo perfecta. El primero de ellos se conoce con el nombre de «multicamino» (ver figura 4.21). Cuando la antena transmite, la señal llega al receptor por varios caminos. El primero de ellos es la vía directa, de antena a antena. Además, las ondas rebotan en paredes y techos del edificio y llegan al receptor haciendo un recorrido mayor. Así pues, la antena receptora se encuentra con un buen número de señales de distintas fases y niveles que podrán cancelar parte de onda principal y empobrecer su recepción. El movimiento del transmisor por la persona que lo transporta alterará la relación entre todas estas señales y en algún momento pueden producirse pérdidas de señal «drop-out» causadas por la transmisión desde «zonas de sombra». La solución consiste en localizar esas zonas de sombra mediante sucesivas pruebas y reubicar la antena receptora hasta que desaparezcan o se reduzcan al mínimo. Por lo general, es una buena práctica colocar la antena próxima al transmisor para que la señal directa sea proporcionalmente mucho más fuerte que la mayoría de las reflejadas. Conviene alejarse de las estructuras metálicas, debido a la facilidad de éstas para reflejar y servir de pantalla para las señales de RF. Las antenas pueden anclarse en barras metálicas, pero formando ángulos rectos con ellas; nunca en paralelo.

El segundo de los fenómenos mencionados es la cancelación de señales procedentes de otros transmisores cuando se utilizan varios canales simultáneamente. Si las frecuencias de transmisión están muy próximas entre sí tienen lugar cancelaciones parciales de algunas señales, que serán más débiles que las que producirían cada uno de los transmisores por separado. De nuevo conviene situar la antena receptora lo más cerca posible del transmisor. La selectividad, o «Q», de los sintonizadores juega un papel importante a la hora de obtener una buena recepción en presencia de un gran número de señales. Un receptor puede tener un buen comportamiento cuando hay un único transmisor en uso, pero si tiene y valor de «Q» bajo mermará su calidad de recepción cuando se utilizan varios transmisores. Este extremo debería comprobarse cuando se está probando un sistema; verificar uno solo de los canales no mostrará, desde luego, este tipo de problemas.

4.10.6 Sistema «diversity»

Una técnica conocida como «diversidad espacial» resulta especialmente útil para combatir los problemas antes mencionados. Con este sistema se dispone, para cada canal, de dos antenas conectadas a dos receptores idénticos. Un circuito se encarga de controlar continuamente la potencia de la señal recibida por cada receptor y de seleccionar automáticamente aquel que reciba con más calidad (ver figura 4.22). Cuando ambos están recibiendo buena señal, la salida del receptor es la suma de las dos. Para suavizar los cambios de una señal de RF fuerte seguida por una débil, o viceversa, se dispone de un fundido entre ambas.

La dos antenas están separadas entre sí una determinada distancia, que depende de la frecuencia con la que se esté operando. De esta forma se logra que las relaciones entre las distintas ondas recibidas (directa y reflejadas) sean diferentes para cada antena. Es poco probable que una zona de sombra para una antena lo sea también para la otra. Un buen sistema «diversity» resuelve muchos problemas de recepción, y el incremento en la fiabilidad del sistema compensa el coste adicional que supone. El caso en el que este método se hace deseable es precisamente cuando deben utilizarse más de dos micrófonos inalámbricos. Los buenos micrófonos inalámbricos son bastante caros y suponen un gasto importante del equipamiento de sonido. Existen modelos baratos, pero la experiencia ha demostrado que es preferible no utilizar ninguno a utilizar uno de baja calidad.

Lecturas recomendadas

AES (1979) *Microphones: An Anthology.* Audio Engineering Society.
Bartlett, B. (1991) *Técnicas de los Micrófonos Estereofónicos.* Focal Press. IORTV.
Borwick, J. (1990) *Microphones: Technology and Technique.* Focal Press.
Huber, D. (1988) *Microphone Manual – Design and Application.* Focal Press.
Nisbett, A. (1989) *El uso de los Micrófonos.* Focal Press. IORTV.
Robertson, A. E. (1963) *Microphones.* Hayden.
Rumsey, F. J. (1989) *Sonido Estereofónico para Televisión.* Focal Press. IORTV.
Talbot-Smith, M. (pending publication, 1992) ed. *Audio Engineering Reference Book; Stereo microphones.* Butterworth-Heinemann.

Ver también *Lecturas generales recomendadas* al final del libro.

Altavoces

Un altavoz es un transductor que convierte energía eléctrica en energía acústica. Por tanto, debe tener un diafragma capaz de enviar energía en su dirección de vibración, para producir ondas sonoras similares al sonido original del que se deriva la señal energética. Pedir al cono plástico de un altavoz que reproduzca el sonido de, por ejemplo, un violín, es pedirle mucho, aunque tendemos a infravalorarlo por el hecho de conocer muchos ejemplos de altavoces de buena calidad. El permanente desarrollo y el cuidado especial que se pone en su investigación está llevando a unas continuas mejoras de sus prestaciones. Pero es necio pensar que somos capaces de confundir un sonido producido por un altavoz con el mismo sonido real; no obstante, hemos de usar estos relativamente imperfectos dispositivos para apreciar los resultados de nuestro trabajo. Además, durante la escucha es fácil percibir diferencias significativas entre un modelo y otro. ¿Cuál es el correcto? Es importante no transformar un sonido para acomodarlo a un determinado modelo en particular. Existen varios principios de funcionamiento para los altavoces; aquí haremos una breve exposición de los de uso más común.

En primer lugar, con respecto al recinto del altavoz debemos mencionar un par de ideas. La caja puede tener tanta influencia en el sonido final del sistema de altavoz (entiéndase el conjunto altavoz + caja) como el propio altavoz. Aunque a primera vista sorprende, este hecho se puede apreciar más fácilmente si recordamos que el cono del altavoz radia virtualmente la misma cantidad de sonido dentro de la caja que lo alberga que hacia nuestra habitación. Por tanto, una cantidad de energía acústica igual a la que se radia está siendo concentrada también en dicho recinto (caja acústica). El sonido escapa a través de las paredes y también retrocede a través del cono del altavoz, lo cual tiene una considerable influencia sobre el sonido final del sistema.

5.1 El altavoz dinámico o de bobina móvil

El principio de bobina móvil es, con diferencia, el más ampliamente utilizado. Podemos encontrar altavoces de este tipo tanto en receptores de radio de muy bajo coste, como en sistemas de megafonía (PA = «Public Address») o, incluso, en monitores de estudio de alta calidad, así como en todos los niveles de aplicación intermedios. En la figura 5.1 se muestra la sección de un típico altavoz de bobina móvil. Como dispositivo, se le conoce también por el nombre de «motor» o transductor, y es el componente principal de un sistema completo de altavoz que produce el sonido o «mueve» el aire. Básicamente, un altavoz dinámico consta de un potente imán permanente con un entrehierro para alojar una bobina de hilo arrollada en forma cilíndrica. Dicha bobina está unida al cono o diafragma que se sostiene en su otro extremo mediante un sistema de suspensión, consistente en una especie de tela fina y corrugada más un fino envolvente alrededor del borde del cono. Dicho envolvente puede ser construido

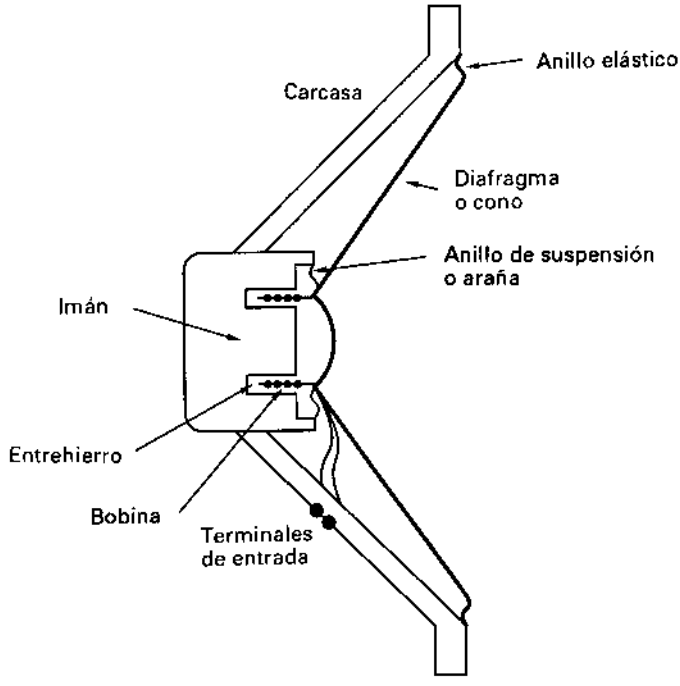


Figura 5.1 Sección de un típico altavoz de bobina móvil.

de un tipo de goma, tela barnizada, o incluso puede ser una extensión del propio cono convenientemente tratado para permitir su movimiento.

El chasis o carcasa se construye usualmente de acero prensado o fundido, siendo particularmente deseable el segundo al emplearse grandes y pesados imanes. Además se necesita un buen ajuste entre la bobina y el entrehierro, lo cual requiere una estructura rígida que mantenga la alineación que consigue el acero fundido. Una carcasa de acero prensado puede algunas veces distorsionar si el altavoz sufre un manejo brusco, como en los sistemas PA portátiles y similares (no deberíamos descartar, sin embargo, la posibilidad de disponer algún día de un buen chasis de acero prensado). El cono se podría fabricar en principio de casi cualquier material. Habitualmente se eligen la pasta de papel (usada en muchos conos de altavoces de megafonía por su poco peso, y gran eficiencia), láminas metálicas o plásticos de varios tipos (empleados en muchos conos de altavoces de Alta Fidelidad ya que tienen mayor consistencia que los de pasta de papel, y en teoría menor coloración del sonido; normalmente esto es a expensas de incrementar el peso y, por tanto, disminuir la eficiencia -aspecto no muy importante en equipos caseros–).

El principio de funcionamiento está basado en el fenómeno de transducción electromagnética, descrito en la Ficha Temática 3.1. Consiste en un proceso inverso al de los micrófonos dinámicos o de bobina móvil (ver Ficha Temática 4.1). La vibración del cono produce ondas sonoras en el aire que son una replica acústica de la señal eléctrica de entrada. Visto así, en principio el altavoz dinámico es un dispositivo tosco y simple, pero los resultados obtenidos actualmente son incomparablemente superiores a los de el diseño original, realizado por Kellog y Rice allá por los años veinte. Esto es, sin embargo, un gran tributo a esos pioneros autores de un principio de funcionamiento que hoy en día sigue siendo el más ampliamente utilizado en la fabricación de altavoces.

5.2 Otros tipos de altavoces

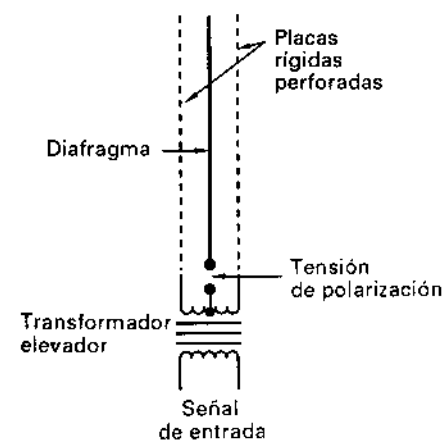
El primer altavoz electrostático (descrito en la Ficha Temática 5.1) llegó a ser comercialmente viable en los años cincuenta. El principio electrostático es mucho menos empleado que el de bobina móvil. Esto se debe a que es difícil y caro de fabricar, además de que no produce los niveles sonoros ofrecidos por los altavoces dinámicos. Sin embargo, la calidad de sonido de los altavoces electrostáticos en los mejores casos, como el Quad ESL63 de la figura 5.2, es raramente igualada por otros tipos de altavoces.

Otra técnica usada en la fabricación de membranas de altavoces de tipo panel emplea una lámina delgada, excitada por una serie de tiras conductoras que equivalen a la bobina de un altavoz dinámico. El panel se encuentra dentro de un sistema de potentes imanes permanentes y la señal eléctrica se aplica a las tiras conductoras. El entrehierro de los imanes permite que se emita el sonido. Estos sistemas suelen ser más grandes y caros que los modelos electrostáticos, pero también pueden conseguir una muy alta calidad. Para lograr una adecuada respuesta en baja frecuencia y un buen nivel de salida en estos altavoces de panel, su diafragma ha de tener una superficie considerable.

El principio de los altavoces de cinta se emplea en ocasiones para aplicaciones de alta frecuencia («tweeters», o altavoces de agudos) y, recientemente, en la construcción de grandes altavoces «todo rango». La figura 5.3 ilustra este principio. Una ligera cinta corrugada de aluminio, fijada por ambos extremos, se coloca entre dos polos magnéticos, uno positivo y otro negativo. La señal de entrada se aplica a través de un transformador elevador a cada uno de los extremos de la cinta. La alternancia natural de la señal produce un campo magnético variable alrededor de la cinta, la cual actúa como una espira simple de una bobina del altavoz dinámico. Como consecuencia de esto, los imanes situados a sus lados producen vibraciones en

FICHA TEMÁTICA 5.1 Principio del altavoz electrostático

El «motor» del altavoz electrostático consiste en un diafragma grande y plano de muy poco peso, colocado entre dos placas rígidas. El dibujo



muestra una vista lateral. Existen paralelismos entre este altavoz y el micrófono de condensador descrito en el Capítulo 4. El diafragma tiene una resistencia muy alta. Se aplica una polarización en continua (CC), del orden de los kilovoltios (kV), en el centro del bobinado secundario del transformador de entrada. Gracias a esta tensión se carga el condensador formado por ambas placas y el diafragma. La señal de entrada pasa (a través del transformador) a las dos placas rígidas y modula así el campo electrostático. El diafragma, que es la otra placa del condensador, experimenta una fuerza que varía de acuerdo con la señal de entrada. De esta forma, al disponer de libre movimiento entre las dos placas rígidas, el diafragma produce el sonido.

Como no existe ningún recinto que albergue al altavoz, el sonido se radia a través de los orificios de ambas placas. En consecuencia surge igualmente por detrás que por delante del altavoz, pero no desde los lados. Debido a esto, su diagrama polar es en forma de ocho, similar al de los micrófonos bidireccionales que tienen el lóbulo trasero en oposición de fase con el frontal.

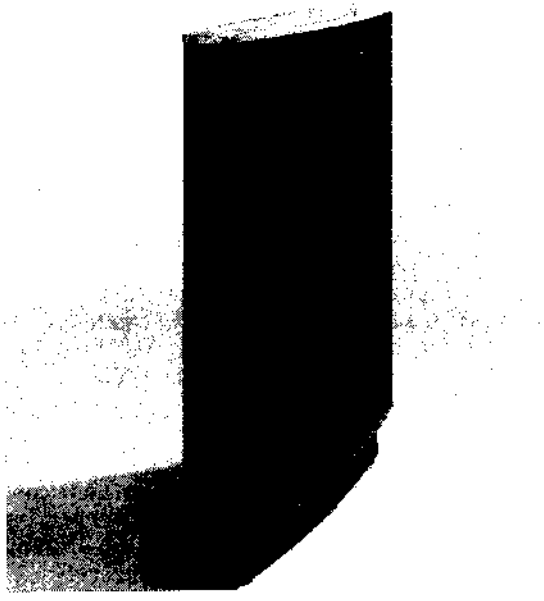


Figura 5.2 Altavoz electrostático Quad ESL 63. (Cortesía de Quad Electroacoustics Ltd.)

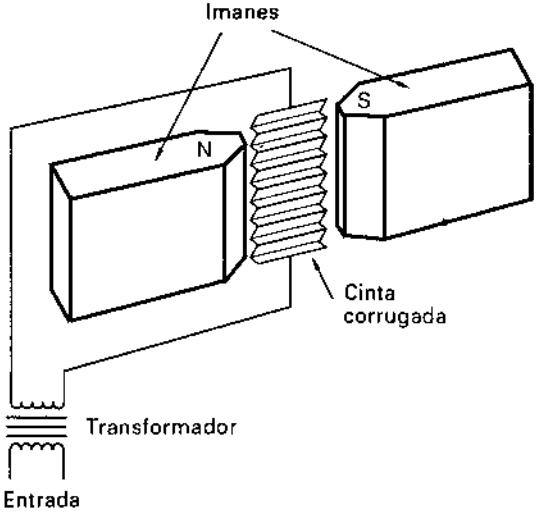


Figura 5.3 Mecanismo de un altavoz de cinta.

la cinta, lo que da lugar a ondas sonoras. La impedancia de la cinta suele ser muy baja por lo que un amplificador no puede moverla directamente. En consecuencia, es necesario utilizar un transformador para incrementar ese valor de impedancia. La cinta, por sí misma, produce una muy baja salida acústica y muchas veces se le coloca una bocina para mejorar su adaptación acústica con el aire. Con esto se aumenta el nivel de salida para una señal de entrada determinada. No obstante, algunos tipos de cintas son muy largas –medio metro o más– y mueven directamente el aire.

Existe, además de los ya citados, algún que otro tipo de altavoces, pero son tan poco comunes que no merece la pena su descripción en este breve apunte de lo que son unos principios básicos.

5.3 Colocación y carga de los altavoces

5.3.1 Sistemas de «pantalla infinita»

El altavoz de bobina móvil radia sonido tanto por delante como por detrás de su diafragma, o cono. Cuando el cono se mueve para delante produce una compresión del aire en la parte frontal y un enrarecimiento en la parte trasera; cuando se desplaza hacia atrás ocurre lo contrario. Por tanto, las ondas acústicas a cada lado del diafragma están desfasadas 180° y cuando se encuentran, tienden a anularse entre sí. Esto ocurre particularmente en baja frecuencia, donde existe difracción alrededor del cono. En consecuencia, se emplea una caja (recinto acústico) para alojar el altavoz. Esta caja se encarga de evitar que el sonido radiado por detrás del cono alcance el aire libre en el exterior de la caja. En su forma más simple, se trata de una caja cerrada (conocida comúnmente, aunque de forma errónea, como «pantalla infinita» o «infinite baffle»), rellena por lo general de algún material absorbente del sonido, como la espuma plástica o la fibra de vidrio. Una verdadera «pantalla infinita» requeriría una grandísima superficie plana con un agujero circular en el centro, donde se montaría el altavoz. La difracción a través de la pantalla sólo se produciría por debajo de frecuencias en las que la longitud de onda sea comparable con su tamaño. La cancelación de ondas en oposición de fase no ocurrirá fuera de dicho rango de frecuencias, pero para que la pantalla fuese efectiva a bajas frecuencias debería medir 3 ó 4 metros cuadrados. El único caso práctico que emplea este tipo de montaje es la colocación del altavoz en una pared que divida dos habitaciones; se utiliza muy poco por razones obvias.

5.3.2 Sistemas «Bass-reflex»

Otra tipo de carga es el sistema «Bass-reflex», que se muestra en la figura 5.4. En una de las paredes de la caja se abre un tubo, o puerta. Son varios los parámetros que tienen que ver con el volumen interno de la caja: peso del cono del altavoz, compliancia de la suspensión del cono, dimensiones del tubo (masa de aire en su interior), etc. Todos ellos se eligen para que a una frecuencia baja determinada el aire en el interior del tubo resuene, reduciéndose a dicha frecuencia el movimiento del cono. Así pues, el tubo genera su propia salida en baja frecuencia, actuando en combinación con el altavoz. Con este procedimiento podemos incrementar el nivel de salida en graves, aumentar la eficiencia o bien lograr una combinación de ambas mejoras. Sin embargo, es conveniente recordar que a frecuencias por debajo de la de resonancia el altavoz se descarga acusticamente ya que el tubo llega a actuar simplemente como una ventana abierta. Si las frecuencias que llegan al altavoz son extremadamente bajas, consecuencia, por ejemplo, del manejo inadecuado de micrófonos o de una mala manipulación del brazo de un tocadiscos, producirán fuertes desplazamientos de su cono que pueden causarle daños. No obstante, el aire dentro de un sistema de caja cerrada supone un apoyo mecánico que «amortigua» las frecuencias más bajas.

En ocasiones se utiliza una alternativa a la puerta reflex: un dispositivo llamado radiador auxiliar de graves (ABR) «auxiliary bass radiator». Es una unidad adicional de graves sin imán ni bobina, por tanto no está movido eléctricamente. La masa de su cono actúa como la masa de aire de una puerta reflex, pero con la ventaja de que las frecuencias medias no se emiten; esto se traduce en una menor coloración.

En la Ficha Temática 5.2 se describe un desarrollo posterior de este sistema de refuerzo en graves.

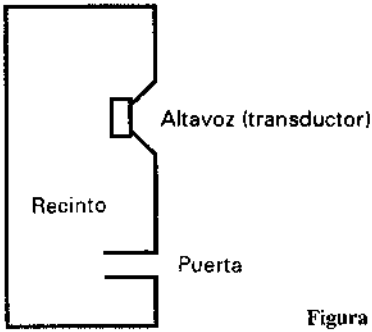
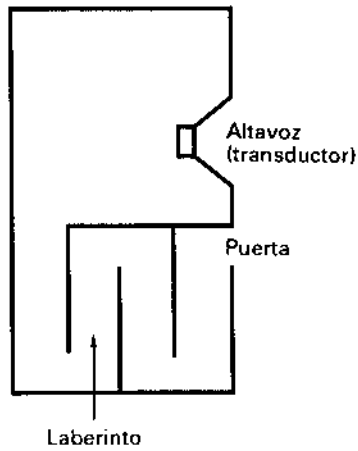


Figura 5.4 Construcción de un recinto Bass-reflex.

FICHA TEMÁTICA **5.2** Sistema de línea de transmisión

Un tipo de refuerzo de graves es el laberinto acústico o «línea de transmisión», como se muestra en figura. Consta de un gran recinto que alberga un conducto plegado, cuya longitud se elige de forma que la resonancia ocurra a una baja frecuencia determinada. Por encima de dicha frecuencia el conducto, que está relleno, o parcialmente relleno, de material absorbente, absorbe gradualmente a lo largo de su longitud la energía sonora radiada por detrás. A la frecuencia de resonancia la apertura, junto con el aire del conducto, se comporta como la puerta de un diseño «bass-reflex». Una ventaja de este tipo de refuerzo es su calidad de graves.



5.3.3 Bocinas

La carga con bocinas es una técnica muy común en sistemas de megafonía, como los descritos en la Ficha Temática 5.3. En este caso se ha colocado una bocina frente al diafragma del altavoz.

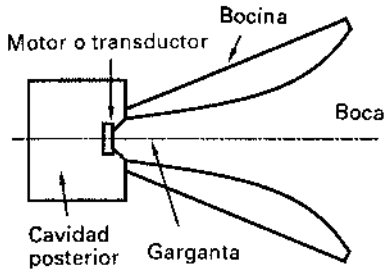
Las llamadas bocinas de gran apertura tienden a dirigir el sonido dentro de un ángulo de 90° en horizontal y 40° en vertical. Por tanto, la energía acústica se concentra principalmente hacia delante. Esta es una de las razones de la gran eficiencia de las bocinas. El sonido se dirige fundamentalmente hacia el frente, con relativamente poca radiación sonora hacia los laterales. Mediante la «directividad constante» de la bocina se pretende que haya un reparto uniforme del sonido para todo su rango de frecuencias de trabajo. Esto se consigue por lo general a expensas de una respuesta en frecuencia desigual. Para compensar esto, se ha de aplicar a menudo una ecualización especial.

Las bocinas de gran apertura no sirven de mucho por aquellos miembros de la audiencia que están cerca del escenario, entre las torres de altavoces. Por ello a menudo se emplean len-

FICHA TEMÁTICA **5.3**

Principios de los altavoces de bocina

Una bocina es un transformador acústico que adapta la impedancia acústica en su garganta (la garganta es donde está el transductor o motor) con la impedancia acústica en su boca. Se consigue por lo tanto una mejora en la eficiencia acústica, de forma que, para una determinada señal eléctrica de entrada, una bocina puede aumentar la salida acústica del propio «motor» en 10 dB o más, con respecto a un «motor» montado en una caja convencional. Una bocina funciona en un rango relativamente limitado de frecuencias. Por ello se utilizan bocinas pequeñas para las altas frecuencias, grandes bocinas para las medias frecuencias, etc. Esto constituye un gran mérito en los casos en que se necesitan elevados niveles sonoros en grandes salas, conciertos de «rock» y acontecimientos al aire libre.



Cada bocina se diseña para tener una baja frecuencia natural de corte, a partir de la cual deja de cargar acusticamente al motor. En efecto, se necesitan bocinas muy grandes para reproducir las bajas frecuencias. Una técnica consiste en recoger la bocina montándola dentro de un recinto más convencional. Las bocinas se emplean muy pocas veces en bajas frecuencias, debido a que deberían tener un gran tamaño. Sin embargo, su uso sí está generalizado en medias y altas frecuencias. Pero la gran coloración del sonido que producen las descarta para su uso en alta fidelidad y como monitores de estudios, excepto en casos en los que se requieran grandes niveles sonoros. Las bocinas tienden a ser más directivas que los altavoces convencionales, lo cual supone una ventaja adicional en aplicaciones de megafonía.

tes acústicas, las cuales, como su nombre sugiere, difractan el sonido. Así, las altas frecuencias se extienden sobre un ángulo mayor para dar una buena cobertura en la parte frontal. La figura 5.5 muestra unas lentes acústicas típicas. Consisten en un número determinado de placas metálicas que se moldean y se colocan una respecto a otra de tal forma que produzcan una difracción hacia fuera de las altas frecuencias. La inclinación hacia abajo de las placas se debe exclusivamente a cuestiones de diseño: no se colocan así para proyectar el sonido hacia abajo. Debido a que la salida acústica disponible se extiende sobre una amplia zona (como es el caso de las bocinas de gran apertura), la sensibilidad en el eje tiende a disminuir.

La gran eficiencia de las bocinas ha sido muy aprovechada en los sistemas de megafonía que no requieren una alta calidad de sonido. También se usan en acontecimientos al aire libre como fiestas, partidos de fútbol y similares, así como en estaciones de ferrocarril, por reseñar algunas de sus aplicaciones más comunes. En la figura 5.6 se muestra una ingeniosa modificación conocida como bocina reentrante, que tiene bastante aplicación. Se puede observar que la bocina se ha cortado por la mitad: la parte que lleva el motor está dada la vuelta e introducida en la campana de la otra. De esta forma podemos tener el equivalente a una bocina bastante grande en una estructura compacta. Este método de construcción es particularmente aplicable a megáfonos de mano.

La bocina para alta frecuencia no emplea como transductor el cono de un altavoz, sino un «motor de compresión», que consiste en un diafragma, normalmente en forma de cúpula, de un diámetro de 1 ó 2 pulgadas (2'5 ó 5 cm.). Dicho motor se parece a un «tweeter» de cúpula, pero con una pestaña o hilo frente a la cúpula para fijarlo a la bocina. El motor de compresión se puede dañar fácilmente si se mueve a frecuencias por debajo de la frecuencia de corte de la bocina que lo contiene.

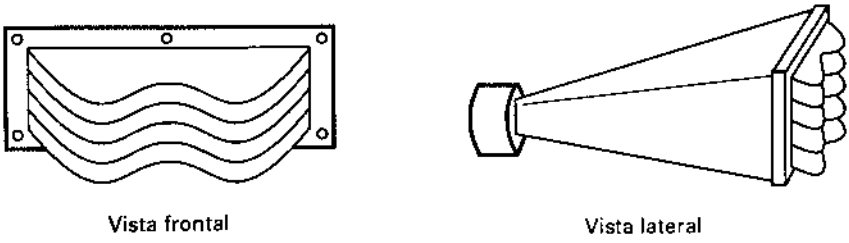


Figura 5.5 Ejemplo de lentes acústicas.

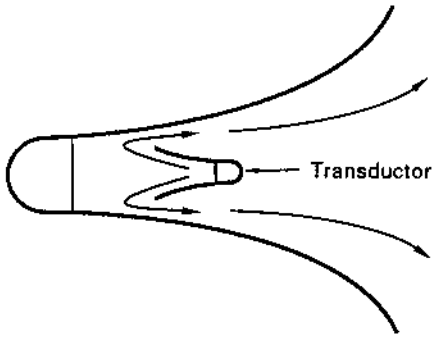


Figura 5.6 Bocina reentrante.

5.4 Sistemas completos de altavoces

5.4.1 Sistemas de dos vías

Es un hecho que un único altavoz no puede reproducir adecuadamente todo el espectro de frecuencias de audio, de 30 Hz a 20 kHz. Las bajas frecuencias requieren grandes altavoces con relativamente grandes desplazamientos del cono, lo que implica tener que mover considerables volúmenes de aire. De forma contraria, no se puede esperar que el mismo cono vibre a 15 kHz (15000 veces por segundo) para reproducir las muy altas frecuencias. Los ejemplos de la relación que existe entre tamaño y frecuencia son evidentes: un contrabajo es mucho más grande que una flauta, y las cuerdas de un piano que producen las notas graves son mucho más gruesas y largas que las que producen las notas agudas.

La técnica más ampliamente utilizada para reproducir todo el espectro de frecuencias es el conocido como sistema de altavoces de dos vías. Dicho sistema se emplea para distintos niveles de calidad, desde los equipos más baratos y compactos hasta los monitores de estudio de muy alta calidad. Consta de dos partes: un altavoz de graves/medios, que maneja frecuencias hasta alrededor de los 3 kHz, y una unidad de alta frecuencia, que reproduce frecuencias desde los 3 kHz hasta los 20 kHz, o mayores. La figura 5.7 muestra una sección del altavoz de agudos «tweeter». La cúpula, normalmente de 1 pulgada (2'5 cm) de diámetro, es movida por una bobina, igual que ocurre con el cono de un altavoz de graves/medios. La cúpula puede estar fabricada de varios materiales, «duros» o «blandos», siendo las más utilizadas las cúpulas metálicas. Como se ha dicho, un altavoz de medios/graves no puede reproducir adecuadamente las altas frecuencias. De forma similar, un pequeño «tweeter» se puede dañar si se le ataca con bajas frecuencias. Todas estas razones hacen necesario el uso de un filtro de cruce «crossover» para alimentar cada altavoz dentro de su rango correcto de frecuencias, como se describe en la Ficha Temática 5.4.

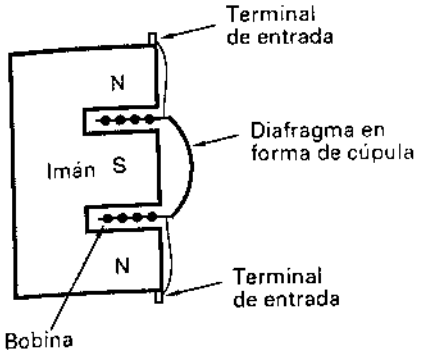


Figura 5.7 Sección de un típico altavoz de agudos «tweeter».

FICHA TEMÁTICA **5.4**

Red básica de filtro de cruce

Mediante una red divisora de frecuencias, o filtro de cruce «crossover», situado en la propia caja de altavoz, se divide la señal de entrada en altas frecuencias (por encima de los 3 kHz, aproximadamente) y bajas frecuencias. Estas últimas se envían a la unidad de medios/graves , o «woofer», y las primeras al «tweeter». En la figura podemos ver un ejemplo simple de dicho principio. En los diseños prácticos se debe tener una consideración adicional debido a que los altavoces no son resistencias puras.

La señal de entrada llega al altavoz de agudos a través de un condensador (recordemos que un condensador tiene una impedancia inversamente proporcional a la frecuencia, es decir, a altas frecuencias su impedancia es muy baja y a bajas frecuencias tiene una impedancia relativamente alta). La impedancia típica de un «tweeter» es de 8 ohmios. Por ello, para señales por debajo de los 3 kHz del ejemplo (frecuencia de cruce) se elige un valor del condensador que presente una impedancia de 8 ohmios también a 3 kHz. Además, debido a la naturaleza de la relación de fase de la señal en el condensador, la potencia entregada al «tweeter» se atenúa 3 dB a dicha frecuencia; después desciende con una pendiente de 6 dB por octava (es decir, la salida del «tweeter» cae 9 dB a 1'5 kHz, 15 dB a 750 Hz, etc.), protegiendo de esta forma al «tweeter» de las bajas frecuencias. La ecuación para obtener el valor del condensador a la frecuencia dada de 3 kHz es:

$$f = 1/(2\pi RC),$$

siendo R la resistencia del «tweeter» y C el valor de la capacidad en faradios.

El valor del condensador conviene expresarlo en microfaradios, (millonésima parte de un faradio), con lo que la fórmula resulta:

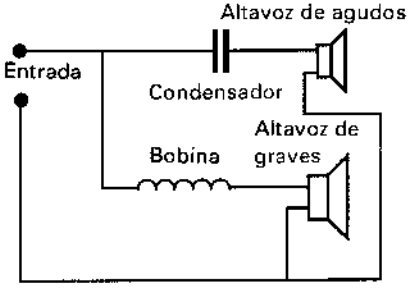
$$C = 159155 /(8 \text{ ohmios} \times 3000 \text{ Hz}) = 6'7 \ \mu F$$

Pasamos ahora al «woofer», al cual se le colocará una bobina en serie. Una bobina tiene una impedancia que aumenta con la frecuencia. En consecuencia, se elige una que tenga un valor de impedancia similar al del «woofer», a la frecuencia de cruce seleccionada. La impedancia típica de un «woofer» es también de 8 ohmios. La ecuación a aplicar en este caso es:

$$f = R/(2\pi L),$$

siendo L=inductancia en henrios, R=resistencia del altavoz, f=frecuencia de cruce. El milihenrio, mH (milésima parte de un henrio) resulta más apropiado en los cálculos, con lo que tendremos:

$$L = 8000/(2\pi 3000) = 0'42 \text{ mH}$$



En un sistema básico, el «woofer» puede tener un tamaño típico de alrededor de 8 pulgadas (20 cm) de diámetro, alojado en una caja de tamaño medio, de varios decímetros cúbicos de volumen interno. Los «tweeters», por lo general, se sellan por detrás y se colocan frente en un agujero realizado en la parte delantera de la caja. Este tipo de altavoz se encuentra normalmente entre los de más bajo precio. A pesar de su simplicidad ofrece, sin embargo, las características básicas de muchos diseños de coste mucho más elevado. Un conjunto de dos vías más caro difiere en que utiliza altavoces más avanzados y sofisticados, mayor calidad en los materiales empleados y en las técnicas de construcción de la caja. Tiene también filtros de cruce bastante más sofisticados que unas simples bobinas, resistencias y condensadores, que dan como resultado pendientes de corte más abruptas que la de 6 dB por octava. Con ayuda del filtro de cruce también se puede ajustar la respuesta global en frecuencia para evitar, por ejemplo, que un «woofer» entregue más potencia acústica de salida en el rango de las frecuencias medias que en graves. En esta situación se han de atenuar un poco las frecuencias medias para que la respuesta final resulte equilibrada en su conjunto.

5.4.2 Sistemas de tres vías

Existen numerosos sistemas de tres vías, que se caracterizan por incorporar –además de los vistos en el apartado anterior– un altavoz de medios, junto con sus componentes adicionales en el filtro de cruce. Estos nuevos componentes deben limitar la banda de frecuencias que llegan a este altavoz de medios: de 400 Hz a 4 kHz, por ejemplo. Esta es una técnica atractiva debido a la importancia que tiene la banda de frecuencias medias, pues es en ella donde se aprecian muchos de los detalles sonoros de la música o la palabra. Esta es la razón que justifica el diseño de un altavoz específico para dicha banda. Conviene advertir, sin embargo, que el incremento en coste y su complejidad no siempre se corresponden con las mejoras ofrecidas en la calidad del sonido.

5.5 Cajas activas

Hasta ahora sólo hemos hablado de cajas «pasivas», llamadas así porque utilizan simplemente componentes pasivos (resistencias, condensadores y bobinas) para dividir las distintas bandas de frecuencia y enviarlas a cada altavoz. También existen las cajas «activas», en las cuales las bandas de frecuencia se dividen mediante una circuitería electrónica a nivel de línea, después de la cual cada banda se envía a un amplificador individual y de ahí al altavoz apropiado. El elevado precio y complejidad de los sistemas activos restringen dicha técnica a aplicaciones profesionales de megafonía de gran potencia, donde se emplean sistemas de cuatro, cinco y seis vías, y en monitores de estudio profesionales, como el sistema Rogers LS5/8 mostrado en la figura 5.8. Los altavoces activos son todavía comparativamente escasos en audio doméstico.

Cada altavoz tiene su propio amplificador de potencia, lo cual incrementa inmediatamente el coste y la complejidad del sistema en su conjunto. Sin embargo, tiene algunas ventajas, que citamos a continuación. En primer lugar, presentan una baja distorsión (debido al hecho de que la señal está siendo ahora dividida a nivel de línea, donde se aplican solamente tensiones del orden de un voltio con una corriente despreciable, en comparación con las decenas de voltios y varios amperios con los que tratan los filtros de cruce pasivos). En segundo lugar, permiten mayor flexibilidad en el diseño del sistema, ya que puede usarse casi cualquier combinación de altavoces, al poderse compensar (mediante el ajuste de las ganancias de los amplificadores de potencia o de las salidas de los filtros de cruce) sus diferentes sensibilidades, impedancias y necesidades de potencia. En tercer lugar, ofrecen mejor control de la respues-

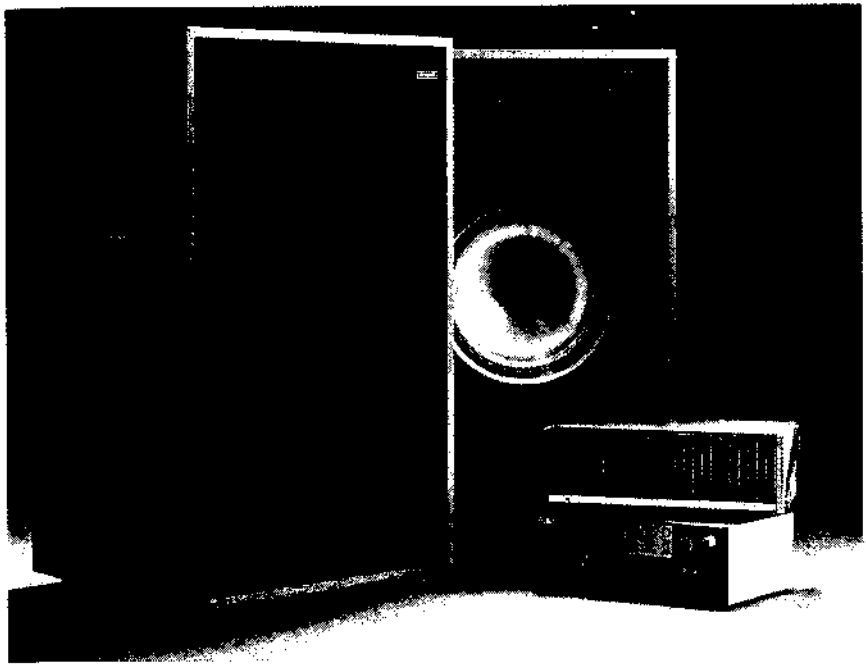


Figura 5.8 Ejemplo de monitores activos de alta calidad para estudio: modelo Rogers LS5/8 (cortesía de Swisstone Electronics Ltd.)

ta en frecuencia que las cajas pasivas, debido a que es muy fácil incorporar circuitería precisa de compensación en el diseño de un filtro de cruce electrónico. En cuarto lugar, mejor claridad del sonido y unos graves más potentes, debido sencillamente a la ausencia de componentes pasivos entre los amplificadores de potencia y los altavoces. Finalmente, las cajas activas suponen una mejora en el funcionamiento del amplificador de potencia, ya que ahora cada amplificador maneja una banda de frecuencias más limitada.

En amplificadores de sistemas activos puede ser mejor adaptarse a los altavoces, y el sistema se diseñará en su conjunto, sin los problemas que surgen cuando el amplificador de potencia ataca a una carga imprevisible. Es sistemas pasivos el diseñador tiene poco o ningún control sobre qué tipo de cajas se conecta, y a qué tipo de amplificador. De este modo el diseño de cada uno (caja y amplificador) supone normalmente un compromiso entre versatilidad y funcionamiento. Algunas cajas activas tienen la parte electrónica colocada en su interior, lo cual simplifica su instalación.

5.6 «Subwoofers»

Para que una caja tenga una buena respuesta en graves necesita tener un gran volumen de su recinto interno para que la frecuencia de resonancia del sistema pueda ser lo suficientemente baja. La respuesta en frecuencia de una caja normalmente desciende por debajo de este valor de resonancia. Esto implica el uso de dos grandes recintos que probablemente resulten demasiado visibles en el caso de colocarlos, por ejemplo, en un cuarto de estar. Una forma de solucionar este problema es incorporando el llamado sistema «subwoofer». Se emplea un recinto

separado de la caja para manejar solamente las frecuencias muy bajas, las cuales son excitadas normalmente por su propio amplificador de potencia. La señal enviada a dicho amplificador procede de un filtro de cruce electrónico que extrae las muy bajas frecuencias de la señal de entrada al amplificador estéreo principal y a las cajas; la señal monofónica de muy baja frecuencia procedente de ambos canales se suma y se envía al «subwoofer».

Libre de la necesidad de reproducir las señales muy graves, los altavoces principales estéreo pueden ser ahora sistemas pequeños de alta calidad. El «subwoofer» se puede colocar en cualquier lugar de la habitación, según los fabricantes de dichos sistemas, ya que sólo radia frecuencias por debajo de unos 100 Hz aproximadamente -frecuencias a las que la radiación suele ser omnidireccional–. En ocasiones se nota una degradación de la imagen estéreo cuando el «subwoofer» está muy lejos del par estéreo, por lo que puede ser una buena idea colocarlo cerca de uno de ellos.

Los «subwoofers» se emplean también en sistemas sonoros de conciertos y teatros. Es difícil lograr a la vez una gran eficiencia y una buena respuesta de graves en una caja diseñada para usos de megafonía; podemos encontrarnos cajas bastante grandes y sonoras que tienen, sin embargo, una baja salida por debajo de unos 70 Hz. Los sistemas «subwoofer», si se integran convenientemente en el conjunto del sistema, pueden producir una gran diferencia en el peso y nivel del sonido en directo.

5.7 Características de un altavoz

5.7.1 Impedancia

En la mayor parte de los altavoces y cajas hay una etiqueta con el dato «Impedancia = 8 ohmios». Sin embargo, este es el valor nominal, ya que, en la práctica,la impedancia varía mucho con la frecuencia (ver sección 1.8). Un sistema de altavoces (caja) puede tener, en efecto, una impedancia de 8 ohmios a, digamos, 150 Hz, pero a 50 Hz puede tener muy bien 30 ohmios, y a 10 kHz tener 4 ohmios. La figura 5.9 muestra la característica de impedancia de un sistema de altavoces típico doméstico de alta fidelidad, con dos vías y en caja cerrada.

Vemos que hay una abrupta subida de la impedancia para una cierta frecuencia; ello indica la resonancia en graves del sistema. Aparecen también otras «ondulaciones» en la curva de impedancia, que ponen en evidencia la naturaleza reactiva del sistema; se deben a los elementos capacitivos e inductivos de los componentes del filtro de cruce y a las mismos altavoces. La unión entre el altavoz (como elemento independiente) y la propia caja, también produce su efecto, siendo la situación más evidente la antes mencionada resonancia en baja frecuencia. En la figura 5.10 se muestra la característica de impedancia de un diseño «bass-reflex». Aquí podemos observar la típica «doble joroba» en el extremo de los graves. El gran pico alrededor de los 70 Hz indica la resonancia caja/altavoz en baja frecuencia. El valle en torno de los 40 Hz es la frecuencia de resonancia de la puerta «bass-reflex», donde ésta radia la máxima energía en baja frecuencia y el altavoz de graves radia la mínima energía. El pequeño pico sobre los 20 Hz es efectivamente igual a la resonancia en aire libre del altavoz de graves, porque a muy bajas frecuencias el altavoz es acusticamente descargado por el recinto debido a la presencia de la puerta abierta. Un diseño del tipo línea de transmisión tiene una característica de impedancia similar.

La resistencia (impedancia para frecuencia = 0 Hz) de un altavoz o caja de 8 ohmios tiende a bajar hasta los 7 ohmios. Esta referencia nos puede servir de orientación cuando debamos estimar la impedancia de un altavoz que no tenga etiqueta sobre cuál es su valor. Otras impedancias usuales son 15 ohmios y 4 ohmios. Los altavoces de 4 ohmios son difíciles de mover porque para una tensión de salida dada de un amplificador, éste debe entregar el doble

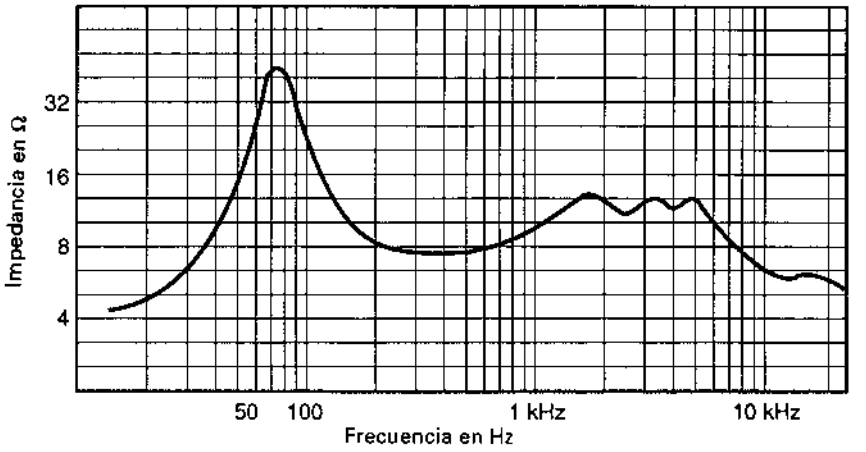


Figura 5.9 Curva característica de impedancia en función de la frecuencia para una típica caja de altavoces de dos vías, de uso doméstico.

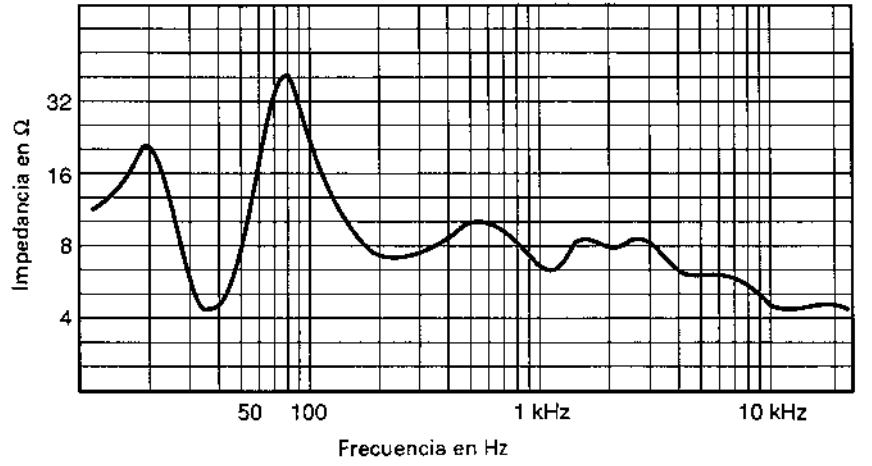


Figura 5.10 Curva característica de impedancia en función de la frecuencia para un diseño típico de «bass-reflex».

de corriente. El altavoz de 15 ohmios es una buena carga, pero su alta impedancia hace que se extraiga menos corriente del amplificador, por lo que la potencia (voltios x amperios) que llega al altavoz será proporcionalmente más baja; en este caso el altavoz no es capaz de entregar toda la potencia de la que dispone. Por estas razones, la impedancia de 8 ohmios se ha convertido prácticamente en estándar y los amplificadores bien diseñados serán capaces de mover altavoces que tengan también una buena calidad. Muchos amplificadores profesionales de alta potencia son capaces de admitir dos altavoces de 8 ohmios conectados en paralelo, que dan como resultado una impedancia de 4 ohmios.

5.7.2 Sensibilidad

La sensibilidad de un altavoz es la medida de con qué eficiencia convierte la energía eléctrica de la señal que le llega en energía acústica radiada. En la Ficha Temática 5.5 se explica la idea de sensibilidad de un altavoz. Los altavoces son, en efecto, unos dispositivos muy poco eficientes. Un típico altavoz doméstico de alta calidad tiene una eficiencia menor del 1% ; por lo tanto si se le introducen 20 vatios se producirá una salida de menos de 0'2 vatios acústicos. Casi todo el resto de la potencia se disipa en forma de calor en la bobina del altavoz. Los sistemas con bocinas pueden conseguir una eficiencia mucho mayor, siendo típicos valores en torno al 10%. El parámetro que da la eficiencia no es, en sí mismo, el que más interesa conocer a la hora de trabajar con altavoces; resultan mucho más útiles parámetros como la sensibilidad y la potencia nominal. Pero es conveniente saber que la mayoría de la potencia introducida al altavoz se disipará en calor y que si se somete a un altavoz niveles altos prolongados se producirán grandes calentamientos de la bobina.

Se ha sugerido aquí que la sensibilidad no es un indicativo de calidad. De hecho se encuentran a menudo altavoces de menor sensibilidad que producen mejor sonido. Esto es así porque las mejoras en la calidad del sonido surgen normalmente a expensas de reducir la salida acústica para una cierta entrada. Los diseñadores de altavoces para megafonía tienen que sacrificar generalmente la calidad del sonido para lograr la alta sensibilidad y los niveles sonoros necesarios en dicho propósito.

5.7.3 Distorsión

La distorsión en los sistemas de altavoces tiene generalmente un orden de magnitud mayor que la de otros equipos de audio. La mayor parte de la distorsión tiende a ser del segundo armónico (ver sección A1.3), ya que los altavoces añadirán a la señal correcta de entrada frecuencias que están una octava por encima de ella. Esto se pone especialmente de manifiesto en bajas frecuencias, donde el diafragma del altavoz se ha de desplazar unas distancias comparativamente grandes para reproducirlas. Cuando se producen niveles mayores de 90 dB en sistemas domésticos, y de unos 105 dB en sistemas de alta sensibilidad, son comunes distorsiones en torno al 10% (debidas principalmente al segundo armónico y, en menor medida, al tercer armónico).

FICHA TEMÁTICA 5.5 Sensibilidad de un altavoz

La sensibilidad se define como la salida acústica producida por una tensión de entrada dada. Las condiciones estándar son aplicar una entrada de 2'83 voltios (correspondiente a 1 vatio sobre 8 ohmios) y medir el nivel de presión sonora (SPL) a 1 metro del altavoz y en su eje. La señal de entrada es ruido rosa, que tiene el mismo nivel de energía sonora en cada banda de octava (ver sección 1.6). Una determinada frecuencia puede corresponder con un pico o un valle en la respuesta en frecuencia del altavoz, produciendo una valoración incorrecta del conjunto. Un altavoz doméstico puede tener, por ejemplo, una sensibilidad de 86 dB W^{-1}, lo cual quiere decir que 1 vatio de entrada producirá a un metro del altavoz un nivel de 86 dB.

Es fácil encontrar altavoces cuyas sensibilidades difieren bastante entre sí, no siendo esta característica un indicativo de la calidad sonora. Un monitor profesional de alto nivel puede tener una sensibilidad de 98 dB W^{-1}, lo que puede indicar, como así es, que será mucho más sonoro en comparación con su pariente doméstico. Las bocinas de alta frecuencia para megafonía alcanzan en ocasiones valores de 118 dB para un vatio de entrada. Por tanto la sensibilidad es un guía útil en la selección del tipo de altavoz para una determinada aplicación. Un altavoz pequeño con una sensibilidad de 84 dB W^{-1} y 40 vatios de potencia nominal no hará una buena sonorización en un salón grande. Por el contrario, la capacidad que tienen los modelos profesionales potentes de proporcionar altos niveles sonoros se malgastará en un cuarto de estar.

En medias y altas frecuencias la distorsión está generalmente por debajo del 1%, y queda limitada a bandas relativamente estrechas, que corresponden a zonas tales como frecuencias de cruce de los filtros o resonancias de los altavoces. Afortunadamente, una distorsión de esa magnitud en un altavoz no implica un daño inminente, y es obvio que dichos transductores no son lineales en estas zonas. Gran parte de la distorsión se produce en bajas frecuencias, donde el oído es menos sensible a ella. También pasa subjetivamente inadvertido por el oído el carácter predominante del segundo armónico. En las gargantas de las bocinas de alta frecuencia son bastantes usuales niveles de distorsión del 10-15%.

5.7.4 Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia de un altavoz indica también lo lineal que es. Idealmente un altavoz debería de responder por igual a todas las frecuencias, produciendo una respuesta uniformemente «plana», cuando se le ataca con una señal de entrada de amplitud constante que se desplaza barriendo todo el espectro de audio. En la práctica sólo los altavoces más grandes producen una salida importante por debajo de unos 20 Hz, pero incluso los sistemas de altavoces más pequeños pueden responder a 20 kHz. La «monotonía» de la respuesta, es decir, con qué uniformidad puede responder un altavoz a todas las frecuencias, es una cuestión bastante distinta. Los sistemas de alta calidad consiguen una respuesta de 80 Hz a 20 kHz, dentro de un margen de variación de 6 dB respecto al nivel a 1 kHz (dicha respuesta en frecuencia se puede observar en la figura 5.11(a)). La Figura 5.11(b) es un ejemplo de un altavoz de bastante mala calidad, el cual tiene una respuesta considerablemente más irregular y una seria caída en graves.

La respuesta en frecuencia se puede medir por varios métodos diferentes. Algunos fabricantes toman las medidas en las condiciones más favorables para ocultar defectos. Otros simplemente dan algo como «±3 dB de 100 Hz a 15 kHz». Esto, al fin y al cabo, da una relativa buena idea de la uniformidad de la respuesta. Sin embargo, estas especificaciones no pueden decirnos cómo sonará el sistema de altavoces, por lo que las usaremos sólo como una guía. Estos datos no indican nada respecto a los niveles de coloración, ni de la reproducción de una buena profundidad estéreo, ni de la uniformidad de los agudos, ni tampoco de la «tacañería» en los graves.

5.7.5 Potencia nominal

La potencia nominal es el número de vatios que puede soportar un altavoz antes de que se produzca una distorsión inaceptable. Está estrechamente relacionada con la sensibilidad en la determinación del nivel sonoro máximo que puede entregar un altavoz. Por ejemplo, un altavoz doméstico puede ser estimado para 30 vatios y tener una sensibilidad de 86 dB W^{-1}. El incremento en dB que suponen 30 vatios con respecto a 1 vatio está determinado por:

$$\text{dB incrementados} = 10 \log 30 \approx 15 \text{ dB}$$

Por tanto, el nivel máximo de salida de dicho altavoz es 86 + 15 = 101 dB a 1 metro, y para 30 vatios de entrada. Este es un nivel bastante adecuado y sonoro para uso doméstico. Consideremos ahora un altavoz para megafonía con una sensibilidad de 99 dB W^{-1}. Los 30 vatios de entrada producen ahora 99 + 15 = 114 dB, unos 13 dB más que en el ejemplo anterior para la misma potencia de entrada. Para conseguir estos 114 dB en un altavoz de 86 dB W^{-1} necesitaríamos excitarlo con al menos 500 vatios, lo cual va más allá de sus posibilidades. Esto demuestra muy bien la necesidad de tener en cuenta los parámetros sensibilidad y potencia nominal.

Sin embargo, un altavoz de 30 vatios puede ser excitado sin sufrir daños por un amplificador de incluso 500 vatios, siempre que se tomen precauciones respecto del nivel que envíe dicho

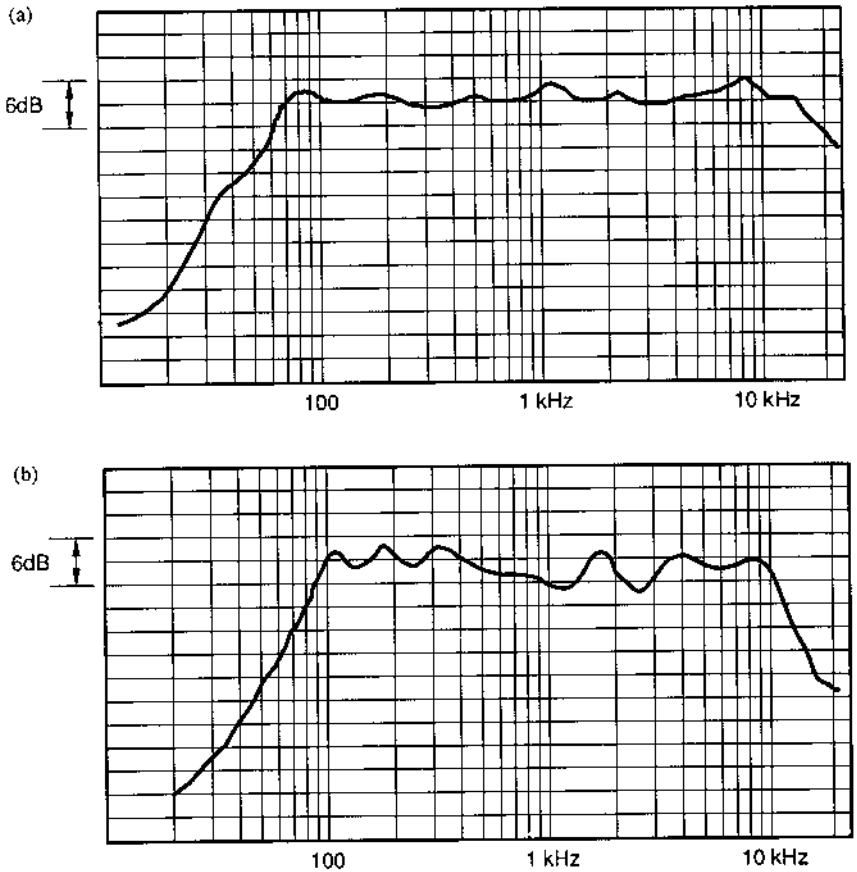


Figura 5.11 Respuestas en frecuencia de dos altavoces típicos. (a) Altavoz de alta calidad. (b) Altavoz de inferior calidad.

amplificador. Se puede tolerar bastante bien picos ocasionales de más de 30 vatios pero un alto nivel prolongado puede dañar el altavoz. El atacar un altavoz de alta potencia con un amplificador de baja potencia es perfectamente correcto, siempre que se tenga cuidado de no poner a este último a trabajar por encima de sus posibilidades. De lo contrario los elevados productos de distorsión pueden dañar fácilmente las bocinas de alta frecuencia, e incluso a los «tweeters», aunque el sistema de altavoces tenga una potencia nominal que supere a la del amplificador. La regla de oro es escuchar con mesura. Si el sonido es limpio e inacentuado todo irá bien.

5.8 Instalación de los altavoces

5.8.1 Fase

La fase es algo muy a tener en cuenta cuando cableamos los altavoces. Una tensión eléctrica positiva llevará al cono del altavoz a moverse en una cierta dirección, que será normalmente para delante (aunque existen al menos dos fabricantes americanos y dos británicos que han adoptado, desafortunadamente, el convenio contrario). Es esencial que los dos altavoces de

un par estéreo, o todos los altavoces de un mismo tipo en una agrupación sonora completa, estén «en fase». Es decir, que todos los conos se muevan en el mismo sentido en cualquier instante, cuando se les aplica una señal idéntica. Si dos altavoces estéreo se conectan en oposición de fase se produce una imagen sonora estéreo borrosa y algunas frecuencias bajas pueden cancelarse. Esto puede demostrarse con facilidad conectando temporalmente *una* caja en fase opuesta a la otra caja de la pareja estéreo, y escuchando una fuente de señal mono (la voz de una radio es una buena señal de prueba). Parecerá que la voz no procede de ningún sitio en particular, y movimientos pequeños de la cabeza producen grandes cambios imprevistos en la localización aparente de la fuente sonora. Invirtiendo de nuevo la conexión de los altavoces para ponerlos en fase observaremos que la voz procederá de un posición definida entre las cajas. Se mantendrá también bastante estable cuando nos movamos varios centímetros hacia la izquierda o hacia la derecha.

En ocasiones no es posible comprobar la fase de un altavoz desconocido por medio de la escucha. Un método alternativo es conectar una pila de 1'5 voltios entre sus terminales de entrada y observar hacia dónde se desplaza el cono del altavoz de graves «woofer». Si se mueve hacia afuera, el terminal positivo de la pila corresponde al terminal de entrada positivo del altavoz. Si se mueve hacia adentro entonces el terminal positivo de la pila está en contacto con el terminal de entrada negativo del altavoz. Los terminales podrán marcarse entonces como + y –.

5.8.2 Ubicación de los altavoces

La situación de los altavoces tiene un efecto importante sobre su funcionamiento. En recintos pequeños como controles y salas de estar es apropiado colocar los altavoces cerca de las paredes. La «ganancia de la sala» produce su efecto, por lo que se refuerzan las bajas frecuencias. Esto sucede porque a dichas frecuencias el altavoz es prácticamente omnidireccional, es decir, radia el mismo sonido hacia todas las direcciones. Las radiaciones trasera y laterales se reflejan, por tanto, en las paredes y vuelven hacia la sala añadiendo más energía en graves. Al incrementar la frecuencia se llega a un punto en el cual la longitud de onda de las frecuencias medias más bajas comienza a ser comparable con la distancia entre el altavoz y la pared cercana. Para longitudes de onda media el sonido reflejado está desfasado con el sonido original del altavoz y se producen algunas cancelaciones. Además, el «chapoteo» en alta frecuencia es a menudo producido por superficies cercanas duras, siendo este el caso usual de controles, donde grandes mesas de mezcla, magnetófonos o demás equipos auxiliares, pueden estar muy cerca de las cajas. Se pueden generar así imágenes estéreo fantasmas, distorsionando la perspectiva del sonido original. Por tanto, una caja que tiene una correcta respuesta plana en frecuencia puede sonar de manera muy diferente en un entorno de escucha real. Podemos deducir de todo esto que es esencial tener en cuenta el lugar que van a ocupar las cajas de altavoces que queremos instalar en nuestra sala o estudio, colocándolas de tal forma que los altavoces se encuentren a la altura de la cabeza, mirando desde la posición de los oyentes (la dispersión en alta frecuencia es mucho menor que a bajas frecuencias, por lo que un altavoz debería escucharse en su eje). También se colocarán lejos de los límites de la sala. Estas consideraciones proporcionarán al sonido la tonalidad más correcta.

Algunos altavoces, sin embargo, se diseñan para dar su mejor sonido cuando se colocan directamente junto a una pared, siendo la ganancia en graves en dicha posición función del diseño del propio altavoz. Algunos monitores de estudio profesionales se diseñan para empotrarlos en la pared de tal forma que sus altavoces queden al nivel de la superficie de la pared. Las instrucciones del fabricante deberían tenerse en cuenta en todo momento, uniendo a ello la experimentación y las pruebas de escucha. La voz es una buena señal de prueba. La voz

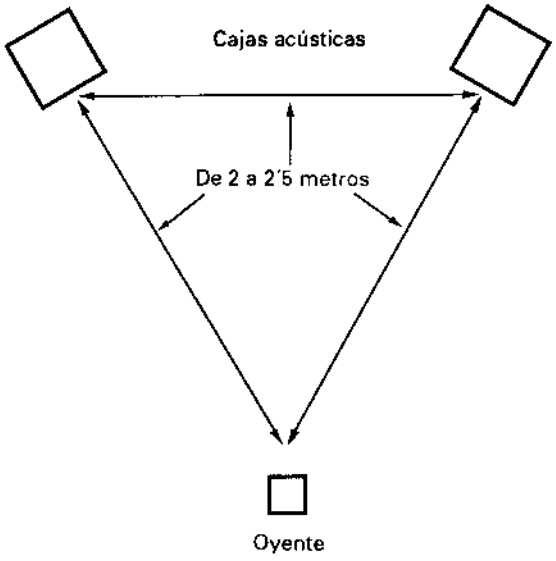


Figura 5.12 Disposición recomendada de las cajas para una escucha estéreo óptima.

masculina es buena para revelar retumbos en un altavoz y la voz femenina pone de manifiesto posibles «chapoteos» de agudos, en caso de que estén próximos objetos de superficie dura. La música electrónica es probablemente la que menos ayuda en esta prueba, ya que no tiene una referencia en la vida real para poder valorar el sonido reproducido. Conviene resaltar que el único medio para juzgar todo el trabajo anterior es altavoz, y que el tiempo dedicado a seleccionar y colocar los altavoces no es un tiempo perdido.

Los altavoces se utilizan, por supuesto, en trabajos audiovisuales y nos encontramos a veces con que nos puede interesar colocarlos junto a la pantalla de un monitor de video. Sin embargo, conviene tener en cuenta que los campos magnéticos de los imanes de los altavoces pueden afectar a la calidad de la imagen en la pantalla, al desviar las trayectorias de los haces de electrones en su interior. Para evitar esto algunos altavoces se apantallan magnéticamente.

La posición óptima del oyente para la reproducción estéreo es normalmente justo detrás del vértice del triángulo equilátero formado por las cajas y el oyente (como se muestra en la figura 5.12). Dependiendo de las características direccionales del altavoz en cuestión, la imagen estéreo puede desaparecer en el altavoz más cercano por ligeros movimientos del oyente respecto del centro.

Lecturas recomendadas

Borwick, J. (1988) ed. *Loudspeaker and Headphone Handbook*. Butterworth-Heinemann.
Colloms, M. (1991) *High Performance Loudspeakers*, 4th Edition. Pentech Press/Wiley.
Earl, J. (1973) *Pickups and Loudspeakers*. Fountain Press.
Gayford, M. (1970) *Loudspeakers*. Newnes-Butterworth.
Sinclair, I. (1989) ed. *Audio Engineers' Reference Book;* Chapter 15: *Loudspeakers*, by Stan Kelly.

Mezcladores 1

En su forma más simple, un mezclador de audio combina varias señales de entrada para conseguir una única salida. Esto no se logra simplemente conectando todas las señales de entrada en paralelo y llevándolas a una única entrada, puesto que de esta forma se afectarían entre sí. Las señales deben estar aisladas unas de otras. Así mismo, es necesario que cada una tenga un control de nivel independiente, por lo menos.

En la práctica, los mezcladores realizan bastantes más funciones que una simple mezcla. Pueden proporcionar alimentación fantasma para micrófonos de condensador (ver sección 4.3), control panorámico (por el cual cada señal puede colocarse en la posición deseada dentro de una imagen estereofónica), filtrado y ecualización, posibilidades de encaminamiento de señales y funciones de monitorado (que consisten en que cualquiera de las fuentes de señal puede llevarse a un par de altavoces para su escucha; el monitorado no afecta a la salida de mezcla principal).

6.1 Mezclador sencillo de seis canales

6.1.1 Introducción

Consideraremos como ejemplo un mezclador sencillo de seis canales con seis entradas y dos salidas (para estéreo). La figura 6.1 representa un mezclador genérico del tipo «seis a dos» con los controles básicos. También aparece el panel posterior. Las entradas llegan a través de conectores del tipo XLR de tres patillas, con configuración balanceada. Se dispone de entradas independientes para señales de micrófono y de línea, aunque también es posible encontrar mezcladores que simplemente utilicen un conector hembra conmutable entre micrófono y línea. Muchos mezcladores baratos poseen entradas no balanceadas por medio de «jacks» hembra de cuarto de pulgada, o incluso entrada «phono» (RCA) como las que se encuentran en amplificadores de alta fidelidad «hi-fi». Algunos mezcladores utilizan entrada balanceada XLR para micrófonos y entradas no balanceadas «jack» o «phono» para señales con nivel de línea, ya que estas señales son menos susceptibles al ruido y a las interferencias, y probablemente han viajado una distancia más corta.

(**Nota del traductor**: en este capítulo –al igual que en otros apartados o capítulos del libro– se respetan muchos términos que vienen expresados con vocablos en inglés. Su uso generalizado y su amplia aceptación justifican esta decisión. Dichos términos aparecerán entre comillas o con letra cursiva.)

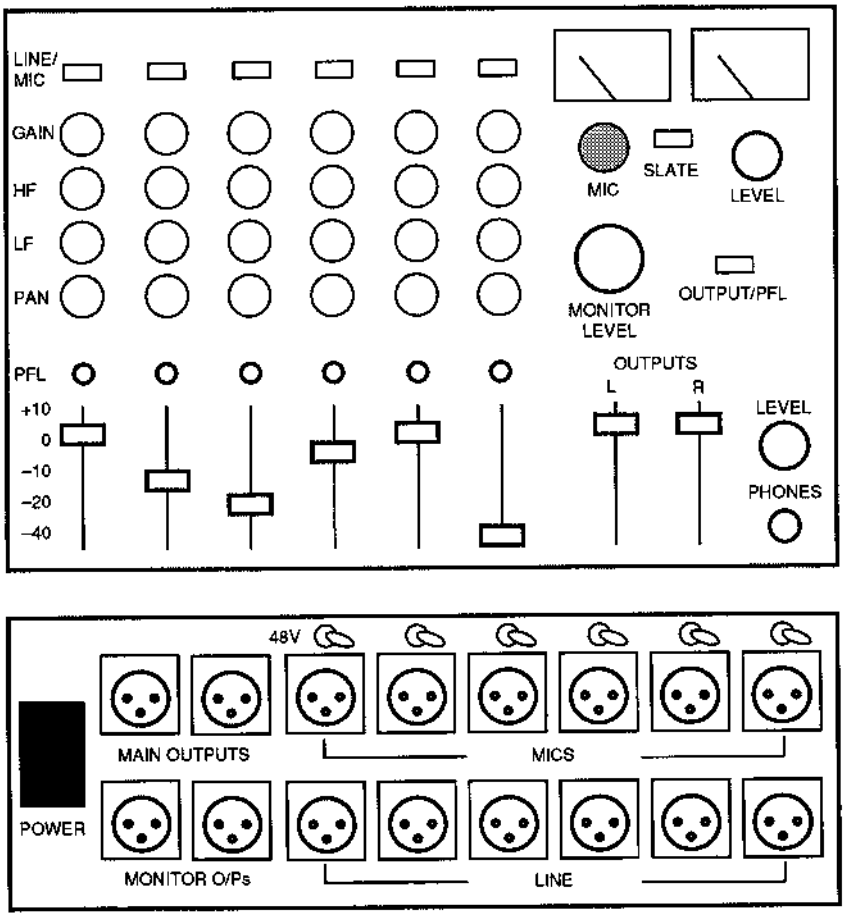


Figura 6.1 Panel frontal y conexiones posteriores de un mezclador típico de seis canales.

En algunos mezcladores más grandes existe un número relativamente pequeño de conectores «multipin» (que disponen de muchas patillas de conexión en un mismo módulo conector). Estos conectores están unidos mediante mangueras multipares al panel de conexiones (denominado también «patchpanel» o «jackfield»); éste consta de una serie de filas de jacks hembra montados en un único bastidor, y perfectamente etiquetados cada uno de ellos. Todas las entradas y salidas del mezclador aparecen en este panel. Mediante cables de, aproximadamente, un metro de longitud que tienen clavijas jack macho en ambos extremos, pueden hacerse todo tipo de conexiones entre cualquier entrada y salida de la mesa y otros equipos o líneas «punto a punto» (el panel de conexiones está descrito más ampliamente en las secciones 6.4.9 y 13.12).

Las salidas disponen de conectores tipo XLR de tres patillas. El convenio para estas conexiones de audio es que las entradas tienen agujeros o huecos, y las salidas tienen patillas. Esto significa que las patillas de los conectores «apuntan» en el sentido de la señal; con esta regla nemotécnica nunca deberíamos confundirnos sobre qué conectores son entradas y cuáles son salidas.

FICHA TEMÁTICA 6.1 Características del atenuador

Ley del atenuador

Tanto los atenuadores de canal como los de salida o cualquier otro potenciómetro giratorio de la mesa pueden seguir dos leyes: lineal o logarítmica (la segunda también se denomina a veces «de audio»). Una ley lineal significa que el control alterará el nivel de la señal (o el grado de refuerzo o atenuación en un control de tono) de un modo lineal. O sea, un control situado a medio camino entre el máximo y el mínimo disminuirá la señal a la mitad de su tensión, es decir –6 dB. Pero esta ley no es una ley muy buena para un control de nivel de audio porque una caída de 6 dB en nivel no reduce a la mitad la sonoridad. Además el resto de la escala (–10 dB, –20 dB, –30 dB, etc...) tiene que acomodarse dentro de la mitad inferior del recorrido del mando, por lo que la mitad superior proporciona control hasta unos 6 dB y la otra mitad al resto.

Para el control de nivel, por tanto, se usa la ley logarítmica por la cual se emplea una relación no lineal de tensión para conseguir aproximadamente una separación uniforme cuando el control se calibra en decibelios, puesto que la escala en dB es logarítmica. Un *fader* logarítmico, por consiguiente, atenuará 10 dB cuando esté en un punto situado la cuarta parte por debajo del máximo de su recorrido. Los incrementos iguales de dB estarán equiespaciados por debajo de este punto. Un potenciómetro logarítmico giratorio tendrá su máximo nivel situado en la posición de las 5 en punto (imaginando que su contorno fuera la esfera de un reloj) y los –10 dB estarán alrededor de las 2 en punto. Debido a la ley logarítmica se produce una atenuación subjetiva constante del nivel de volumen cuando el control se disminuye gradualmente. Una ley lineal produce que subjetivamente se note poco hasta que se alcanza el cuarto inferior del recorrido, punto en el cual tiene lugar la mayor parte del efecto.

La ley lineal se usa, no obstante, donde se requiera un efecto simétrico desde la posición central; por ejemplo, el refuerzo y atenuación de la sección de control de tono tendrá una posición central nula a partir de la cual la señal es atenuada y reforzada (para un mismo desplazamiento a ambos lados de este punto).

Calidad eléctrica

Los potenciómetros deslizantes constan de una pista conductora alargada sobre la cual se desplaza un contacto; la posición de éste determina el valor de la resistencia. Existen dos tipos de pistas eléctricas en uso. Uno de ellos es de carbón y resulta barato de fabricar. La calidad de dichas pistas de carbón, sin embargo, no es muy consistente, y el contacto del *fader* a menudo «rasca» o «araña» al moverse, haciendo que el sonido varíe a pequeños saltos, en vez de hacerlo de una manera continua. La pista de carbón se deteriora rápidamente y puede llegar a ser poco fiable.

El segundo tipo emplea una pista de plástico conductor. Se trata en este caso de una pista de plástico sobre la que se dispersa de manera controlada un material conductor; en este proceso se define el valor que va a tener la resistencia y el tipo de ley que va a seguir (lineal o logarítmica). Aunque es mucho más cara que la pista de carbón, la pista de plástico conductor proporciona suavidad, funcionamiento continuo y mantiene su valor durante un largo período de tiempo. Es la única opción seria para equipos de calidad profesional.

Las entradas de micrófono poseen cada una un interruptor para suministrar, si fuese necesario, una tensión de 48 V para alimentación fantasma «phantom» a los micrófonos de condensador. Algunas veces este interruptor se encuentra en el propio módulo de entrada y otras veces en la fuente de alimentación, conmutándose a la vez los 48 V para todas las entradas.

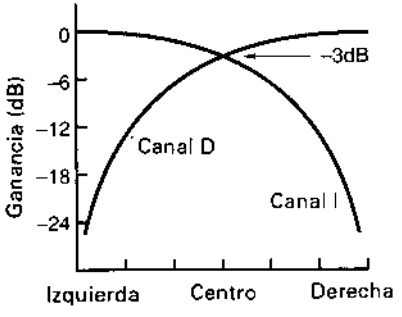
6.1.2 Canales de entrada

Todos los canales de entrada de este ejemplo son idénticos, y sólo se describirá uno de ellos. El primer control en la cadena de señal es el de sensibilidad o ganancia de entrada. Este control ajusta el grado de amplificación proporcionado por el amplificador de entrada, y está gra-

duado en decibelios; puede variarse de forma continua o bien en saltos discretos. Las entradas son normalmente conmutables entre «micro» y «línea». En posición «micro», dependiendo del nivel de salida del micrófono conectado al canal (ver sección 4.8), la ganancia de entrada se ajusta para elevar la señal a un nivel de línea adecuado. Por lo general, en este punto se dispone de una ganancia de hasta 80 dB (ver sección 6.4.1). En posición «línea» se usa poca amplificación y el control de ganancia proporciona normalmente un ajuste a ambos lados de la ganancia unidad (0 dB), alrededor de ±20 dB, permitiendo la conexión de señales de alto nivel procedentes de dispositivos tales como lectores de disco compacto (CD), reproductores de cinta y teclados musicales.

FICHA TEMÁTICA 6.2 Control panorámico

El control panorámico en un mezclador se usa para posicionar una señal en algún lugar entre la izquierda y la derecha dentro de la imagen de la mezcla estereofónica. Esto se logra dividiendo la señal *mono* de salida de un *fader* en otras dos señales (izquierda y derecha); la posición en la imagen se establece variando la diferencia de nivel entre los canales izquierdo y derecho. Esto no es lo mismo que el control de balance de un amplificador estéreo, el cual toma una señal *estéreo* y simplemente varía los niveles relativos entre los dos canales. La ley típica de un potenciómetro panorámico podría ser similar a la que se muestra en la figura. Mediante este control se asegura que el nivel de sonido percibido se mantiene prácticamente constante al variar el control de panorama entre ambos extremos, izquierdo y derecho, de una imagen estéreo. La salida del potenciómetro de panorama se envía normalmente a ambos canales del bus de mezcla estéreo (este bus son las dos líneas internas principales, que suman las salidas de todos los canales en el mezclador). En los mezcladores con más de dos buses de mezcla la salida del potenciómetro de panorama puede conmutarse para repartir señal entre cualquier par de buses, o simplemente entre grupos pares e impares (ver Ficha Temática 6.4).



En algunas consolas más antiguas existen encaminamientos de cuatro vías para un bus de mezclas cuadrafónico, con un potenciómetro «derecha/izquierda» y otro «delante/detrás». En la actualidad esto apenas se utiliza. Muchos potenciómetros panorámicos estéreo utilizan una doble resistencia variable con una ley de variación tal que, cuando se sitúan en el centro de su recorrido, presentan una caída de nivel de 4'5 dB por canal, con respecto al nivel enviado a cada canal en los extremos. La cifra de 4'5 dB es un compromiso entre las leyes de –3 dB y –6 dB. Cuando se suman dos señales idénticas se obtiene un incremento de 6 dB en el nivel del conjunto. Por tanto, los potenciómetros en los que el nivel sólo disminuye 3 dB cuando se sitúan en el centro de su recorrido, provocarán en realidad un aumento en el nivel de la señal cuando a partir de las salidas izquierda y derecha se pretenda hacer una suma mono. Un potenciómetro que consiga una caída de 6 dB en el centro da como resultado que no hay aumento de nivel para señales «situadas» en el centro en la suma mono. Desgraciadamente, la caída de 3 dB funciona mejor para la reproducción estéreo, puesto que aparentemente no se eleva el nivel percibido cuando el control de panorama se sitúa en el centro.

Realmente sólo se necesita una diferencia de nivel de alrededor de 18 dB entre los canales izquierdo y derecho para dar la impresión de que una fuente está completamente a la izquierda o completamente a la derecha en una imagen estéreo con altavoces; sin embargo, la mayoría de los potenciómetros de panorama están diseñados para atenuar completamente un canal cuando se gira el potenciómetro hacia el extremo del otro. Esto permite tratar independientemente a los dos buses principales. El mismo caso se produce cuando, en lugar de a un bus estéreo, las salidas de cada canal se encaminan hacia los canales pares o impares de un bus de multipista (ver sección 6.4.2).

La ecualización, o sección «EQ», que viene a continuación (ver sección 6.4.4) tiene solamente dos bandas en este ejemplo –graves y agudos– que proporcionan realce y atenuación del orden de ±12 dB sobre bandas anchas de baja y alta frecuencia (centradas, por ejemplo, en 100 Hz y 10 kHz). Esta sección puede usarse como los controles de tono de un amplificador hi-fi para ajustar el balance espectral de la señal. El atenuador «fader» controla el nivel total del canal, ofreciendo generalmente una pequeña cantidad de ganancia (hasta 12 dB) y atenuación infinita. La ley del atenuador se diseña especialmente para su uso en audio (ver Ficha Temática 6.1). El control panorámico reparte la señal de entrada monofónica «mono» hacia las salidas derecha e izquierda del mezclador, con el objeto de ubicar la fuente dentro de un sonido estéreo virtual (ver Ficha Temática 6.2).

6.1.3 Sección de salida

Los dos *fader* de salida principales (izquierdo y derecho) controlan el nivel total de todas las señales de los canales que han sido sumados en los buses de mezcla izquierdo y derecho (ver diagrama de bloques de la figura 6.2). Las salidas de estos atenuadores (llamadas a menudo salidas de grupo) se envían a los conectores de las salidas principales, situados en el panel posterior. Al mismo tiempo, esas mismas salidas principales se envían internamente hacia el selector de monitorado. Este selector, en nuestro ejemplo, se puede conmutar para enviar a los altavoces bien las salidas principales o bien el bus de PFL (ver Ficha Temática 6.3). El control de ganancia de monitor ajusta el nivel de salida del altavoz *sin afectar* al nivel de salida de la línea principal; es evidente, no obstante, que cualquier cambio que se haga en la ganancia del *fader* principal sí afectará a la salida de monitor.

La función «slate» permite al operador enviar algún comentario hacia las salidas principales. Para ello dispone de un pequeño micrófono situado en la propia consola, que tiene asociado un control de nivel. Los comentarios del operador (como el número de cada toma, por ejemplo) pueden grabarse en un magnetófono conectado a las salidas principales.

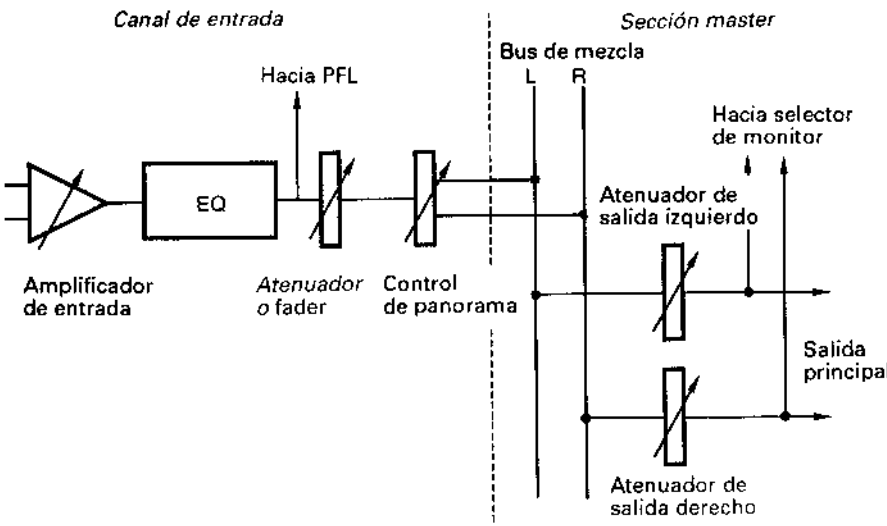
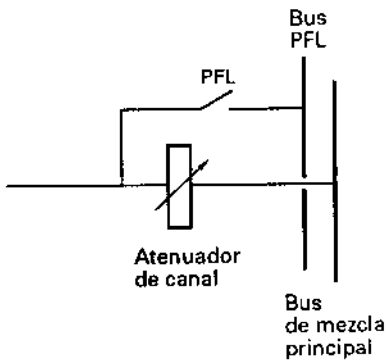


Figura 6.2 Diagrama de bloques del recorrido típico de la señal desde un canal de entrada hacia la salida principal en un mezclador sencillo.

FICHA TEMÁTICA 6.3 Escucha «pre-fader» (PFL)

La escucha antes del atenuador («Pre-fade listen»), o PFL, es una posibilidad que permite monitorar una señal sin necesidad de encaminarla a las salidas principales del mezclador. Es también una forma de escuchar una señal por separado para ajustar su nivel o su ecualización (EQ).

Normalmente existe un bus de mezcla monofónico, independiente, que recorre internamente toda la consola recogiendo las distintas salidas PFL procedentes de cada canal.



Un interruptor de PFL en cada canal dirige la señal, tomada justo antes del *fader* de ese canal, al bus de PFL (ver figura). En algunas consolas se activa al mismo tiempo una lógica interna que conmuta las salidas de monitor para escuchar el bus de PFL. Si tal circuitería no existe, el selector de monitor permitirá en todo caso optar por la escucha de PFL; en este caso en los altavoces de monitorado tendremos cualquier canal que en ese momento tenga el botón de PFL presionado. En algunas consolas de directo o para radiodifusión se dispone de un pequeño altavoz de PFL en el propio mezclador, o incluso de una salida independiente; esto permite seleccionar cualquier fuente sin afectar a los monitores principales.

Algunas veces el PFL se selecciona forzando ligeramente el desplazamiento del *fader* de canal en la parte baja de su recorrido (es decir, empujándolo hacia abajo). Esto activa un microinterruptor, el cual realiza las mismas funciones que se han mencionado anteriormente. El PFL tiene grandes ventajas en el trabajo en directo y en radiodifusión, dado que permite al operador escuchar las fuentes de señal antes de que sean encaminadas a las salidas principales. También se puede usar para grabación en estudio ya que puede aislar unas fuentes de señal de todas las demás sin eliminar los otros canales; esto ayuda a ecualizar y a tratar cada fuente con mucha mayor rapidez y facilidad.

6.1.4 Otras características

Los micrófonos de calidad profesional poseen una impedancia de salida de alrededor de 200 ohmios y las entradas balanceadas de micrófono tendrán una impedancia entre 1000 y 2000 ohmios (de 1k a 2k). Las salidas deberían tener una impedancia de unos 200 ohmios o inferior. Por su parte, la impedancia de salida de los auriculares será normalmente de unos 100 ohmios. Los mezcladores pequeños disponen de una fuente de alimentación independiente que se conecta a la red principal. Esta fuente se compone normalmente de un transformador de red, rectificadores y circuitos de regulación, y alimenta al mezclador con tensiones continuas relativamente bajas. La principal ventaja de una fuente de alimentación independiente es que el transformador de red puede situarse lejos del mezclador. Con esto se evita que el campo magnético alterno que rodea al transformador pueda inducirse en los circuitos de audio. Esto se manifiesta como un «zumbido de red», el cual sólo puede eliminarse eficazmente aumentando la distancia entre el mezclador y el transformador. Los grandes mezcladores suelen tener la fuente de alimentación montada por separado en un bastidor independiente.

El mezclador descrito con anterioridad es muy simple y ofrece pocas prestaciones, pero proporciona una buena base para la comprensión de modelos más complejos. Un ejemplo típico de un mezclador comercial básico se muestra en la figura 6.3.

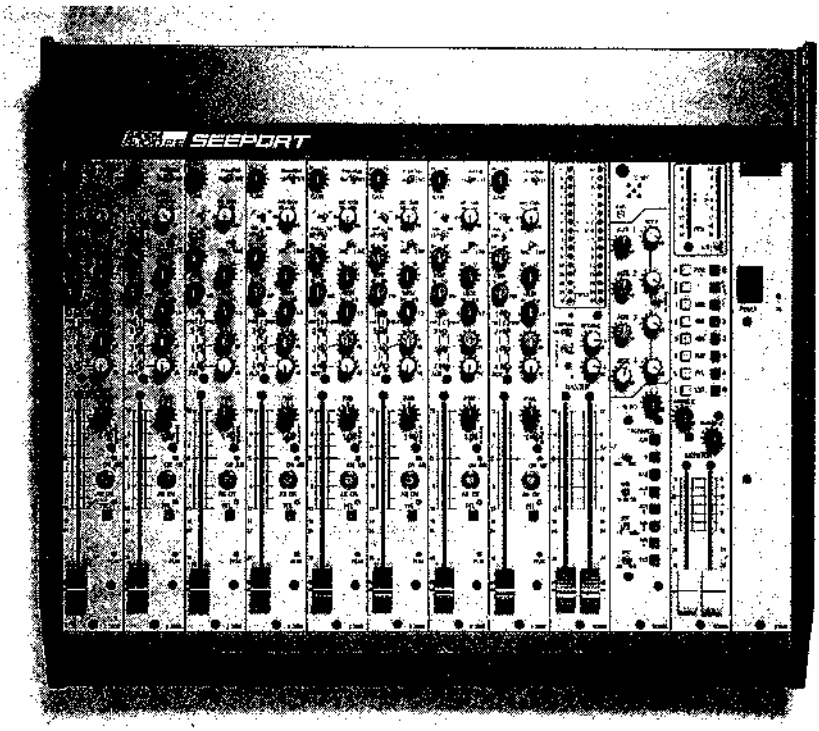


Figura 6.3 Un sencillo y típico mezclador estéreo: el modelo «Seeport», de Seem (Cortesía de Seem Audio A/S).

6.2 Mezclador multipista

6.2.1 Introducción

El mezclador estéreo esbozado en la sección anterior es sólo una parte dentro del entorno de la grabación multipista. Convencionalmente, la grabación de música popular incluye, por lo menos, dos fases distintas: la fase de almacenamiento de pistas, y la fase de mezcla (respectivamente, «track-laying» y «mixdown»). En la primera, las pistas musicales se salvan en un magnetófono multipista, actuando en varias etapas: se graban primero las pistas de apoyo y las de ritmo, seguido de las pistas principales «lead tracks» y las voces. En la fase de mezcla (o «remezcla») todas las pistas previamente grabadas en el magnetófono se reproducen a través del mezclador y se combinan en estéreo; esto llevará a obtener un producto final, listo para ser lanzado comercialmente (ver sección 3.2). Recientemente, con la adopción generalizada de instrumentos electrónicos y equipos MIDI (ver Capítulo 15), el magnetófono multipista ha comenzado a desempeñar un papel menos importante en algunos estudios de grabación, porque las fuentes de sonido secuenciadas por MIDI se reproducen directamente hacia la mezcla en la segunda fase.

Por estas razones, al igual que se requieren distintos encaminamientos de la señal para hacer una mezcla estéreo a partir de un determinado número de pistas, el mezclador también necesita encaminar las diferentes señales de entrada hacia un grabador multipista. A menudo

será necesario realizar ambas funciones simultáneamente; es decir, grabar señales microfónicas en el multipista mientras se mezcla el retorno en estéreo procedente del reproductor. De esta forma el ingeniero de sonido y el productor tienen la posibilidad de oír cómo sonará el resultado final. Al mismo tiempo, cualquier músico en el estudio puede estar grabando en alguna pista adicional mientras escucha por auriculares la mezcla de otras pistas grabadas anteriormente. Esto último se conoce como la *mezcla de monitor* y a menudo constituye la base de la mezcla estéreo cuando ha finalizado el trabajo de almacenamiento en pistas.

Por tanto, existen dos caminos o vías de señal en este caso: uno desde el micrófono o línea hacia el magnetófono multipista, y otro de retorno del multipista a la mezcla estéreo, como se muestra en la figura 6.4. La trayectoria desde la entrada de micrófono, que normalmente alimenta al multipista, se denomina *vía de canal*, mientras que la que procede de la entrada de línea o retorno del multipista, que habitualmente alimenta la mezcla estéreo, se designará por *vía de monitor*.

Es probable que en algún caso sea necesario procesar mínimamente (con ecualización, por ejemplo) las señales que se envían al multipista (ver a continuación), pero el tratamiento más importante se lleva a cabo en el proceso de mezcla a partir de lo grabado en el multipista. En el mercado americano la situación es ligeramente diferente, puesto que hay una mayor tendencia a grabar en multipista señales «frescas», o sea, con todos los efectos y ecualizaciones necesarios, en lugar de aplicar los efectos durante la mezcla.

6.2.2 Configuración «en línea» y «de cruce»

Como puede verse en la figura 6.4, existen dos vías completas de señal, dos atenuadores, dos grupos de ecualizadores, etc... Esto, evidentemente, ocupa un espacio físico, que se puede disponer de dos formas diferentes: una de ellas se conoce como *consola de cruce* «split», o consola de *estilo europeo*, y la otra como *consola en línea* «in-line». La primera es la que tiene la disposición más obvia de las dos, y su distribución física se muestra en la figura 6.5. Tiene los canales de entrada en un lado (normalmente el izquierdo), una sección de control de *master* en el centro, y el mezclador de monitor en el otro lado, de modo que realmente son dos consolas en una sola. Es necesario tener tantos canales de monitor como pistas en la cinta, ya que estos canales necesitarán probablemente algún tipo de procesado. El mezclador de monitor se usa durante el almacenamiento de las pistas para obtener una versión estéreo del material que está siendo grabado; de este modo todo el mundo puede escuchar una mezcla

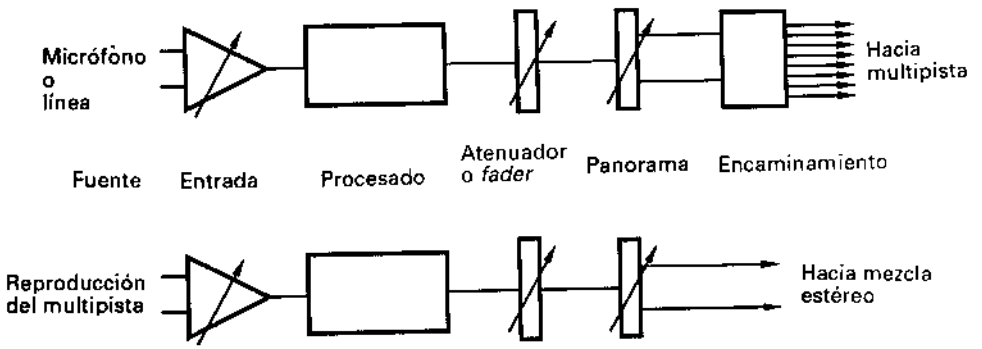


Figura 6.4 En la grabación multipista se necesitan dos vías de señal: uno desde las entradas de micro o línea hacia el multipista, y otro de retorno desde el grabador, para contribuir a la mezcla de «monitor».

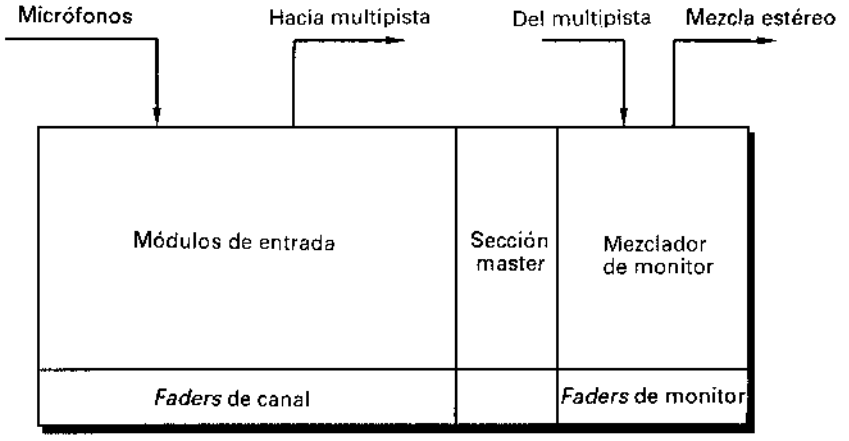


Figura 6.5 Un típico mezclador multipista «de cruce» o de «estilo europeo» tiene los módulos de entrada en un lado y los de monitor en otro: en realidad se trata de dos mezcladores independientes.

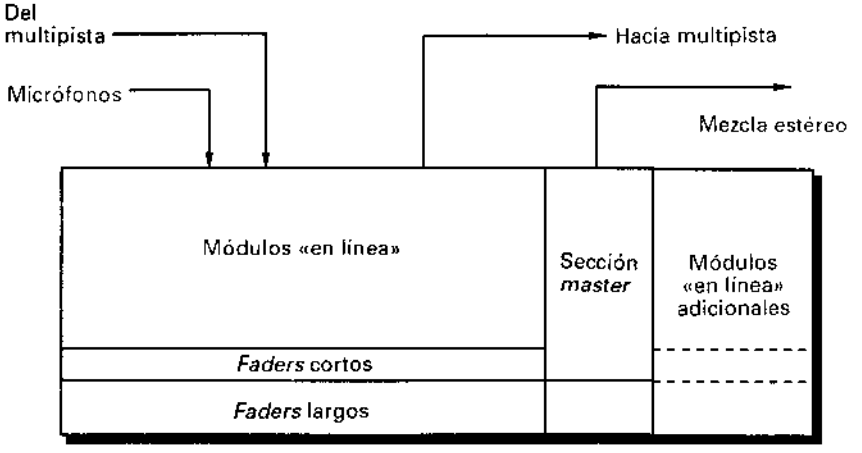


Figura 6.6 Un mezclador «en línea» típico incorpora dos vías de señal en un único módulo, lo que implica dos *fader* por módulo (uno por cada vía). Esto tiene como efecto reducir el tamaño del mezclador para un número determinado de canales, en comparación con un diseño «de cruce».

aproximada de cómo sonará el resultado final. Durante el proceso de mezcla de las pistas grabadas cada entrada de la consola puede encaminarse al bus estéreo con el fin de incrementar el número de entradas para cualquier efecto externo, por ejemplo, y aprovechar así para el retorno del multipista las prestaciones generales que sólo están disponibles en el lado izquierdo de la consola.

Esta disposición tiene la ventaja que se comprende fácilmente su funcionamiento, y hace el módulo del canal menos confuso que en el caso del diseño «en línea» (descrito más adelante), pero puede hacer que la consola sea muy grande cuando se necesitan muchas pistas. Esto, qué duda cabe, puede incrementar el coste de fabricación de la consola, a causa de la duplicación de las prestaciones y de la magnitud de la estructura metálica que requiere. Por

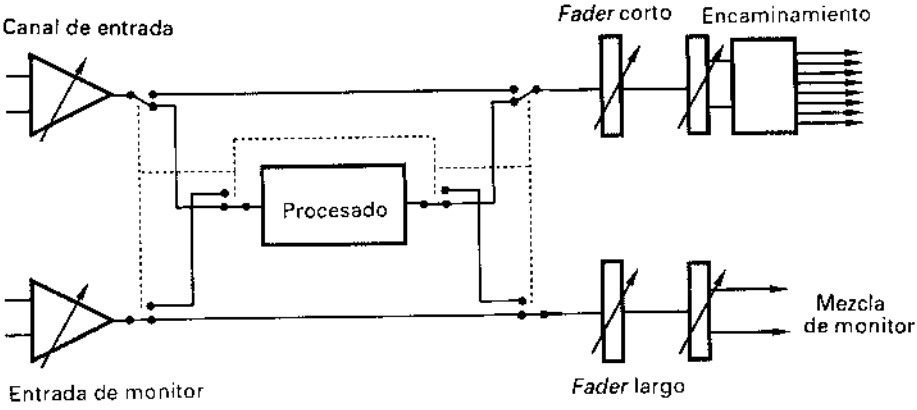


Figura 6.7 El diseño «en línea» permite compartir o conmutar entre canales distintas funciones de procesado de señal, tales como la ecualización o la sección de dinámica.

otro lado, carece de flexibilidad a la hora de operar en ella, especialmente cuando se pasa de un proceso de almacenamiento de pistas a una remezcla.

La disposición «en línea» implica trasladar al lado izquierdo todo lo que en la consola «de cruce» estaba en el lado derecho (la sección de monitor), como se muestra en la figura 6.6. En este caso se sitúa en el mismo módulo tanto la vía completa de monitor como la vía de señal de ese mismo canal. Con ayuda de unos pocos interruptores se puede hacer que las diferentes prestaciones sean compartidas por ambas vías. En las consolas «en línea» cada módulo contiene dos *faders* (uno para cada vía de señal), pero normalmente una única sección de ecualización, un solo conjunto de envíos auxiliares (ver a continuación), una sección de control de dinámica, etc. Mediante conmutadores, todas estas funciones se pueden intercambiar entre la vía de señal y la vía de monitor (en la figura 6.7 se muestra un ejemplo sencillo que representa sólo los conmutadores necesarios para cambiar el bloque de procesado). Esto significa que normalmente no es posible tener al mismo tiempo la ecualización en ambas vías: la vía de grabación multipista y la de mezcla estéreo. Algunos de los diseños más recientes, sin embargo, permiten repartir el ecualizador, de modo que los controles de unas bandas de frecuencia pueden estar en la vía de canal, mientras los de otras bandas actúan para la vía de monitor. Los rangos de frecuencias de estos controles se diseñan para que haya solapamiento entre ellas, lo que permite configuraciones más flexibles.

6.2.3 Otros aspectos del diseño «en línea»

Ya se ha señalado que en una consola «en línea» habrá dos atenuadores asociados a cada módulo de canal: uno para cada vía de señal. Algunas veces el *fader* corto no es un potenciómetro deslizante alargado, sino un botón giratorio. No hay un acuerdo unánime sobre si el *fader* largo, que se sitúa en la parte inferior del módulo de canal, debe controlar el nivel de *monitor* de la pista asociada a ese canal, o, por el contrario debe controlar el nivel de salida del *canal* hacia el multipista. Por convención, las consolas americanas utilizan el *fader* largo como *fader* de monitor en funcionamiento normal, mientras que las consolas británicas tienden a utilizarlo como *fader* del canal. Normalmente sus funciones pueden intercambiarse, dependiendo de si se está mezclando o almacenando pistas. Esto puede hacerse de dos maneras: una de ellas es globalmente (para toda la consola), en cuyo caso el intercambio de *faders*

ocurrirá de forma automática cuando se conmuta la consola de modo «grabación» a modo «remezcla». La otra forma es individualmente para cada canal, en cuyo caso la función de intercambio suele venir indicada en cada módulo mediante nombres como «fader flip», «fader reverse» o «changeover». El proceso de cambio de *fader* se usa principalmente por comodidad, puesto que se puede ejercer un control más preciso sobre el *fader* largo, situado cerca del operador, que sobre el *fader* corto, que suele estar más lejos; por esta razón al *fader* largo se le asigna la función más usada en el funcionamiento normal. Esto se asocia con el hecho de que en una consola automatizada es casi siempre el *fader* largo el que se automatiza. La automatización es más necesaria en el proceso de mezcla.

Cuando se trabaja con mezcladores «en línea» pueden surgir algunas confusiones, como cuando se introduce, por ejemplo, una señal de micrófono en la entrada 1 de *micro* y se encamina a la pista 13 del multipista: el operador controlará el nivel de monitor de esa pista (y por lo tanto el nivel de esa señal microfónica en la mezcla estéreo) en el *fader* de monitor 13, mientras que con el *fader* de canal del módulo 1 controlará el nivel de grabación del multipista para esa señal de micrófono.

Si se usa un magnetófono de 24 pistas junto con el mezclador, entonces el resto de los *faders* de monitor (los que pasan del número 24) no llevarán retorno de multipista, sino que estarán disponibles para otras fuentes de señal. Recuérdese que se puede encaminar más de una señal microfónica a cada pista del magnetófono, y por lo tanto habrá una serie de controles de nivel que afectarán al nivel de cada fuente en la mezcla de monitor; cada uno de ellos tiene un propósito diferente:

- **AJUSTE DEL NIVEL DE MICRÓFONO «MIC LEVEL TRIM»** - ajusta la ganancia del preamplificador de micrófono a la entrada del canal. Normalmente se encuentra en la parte superior del módulo.

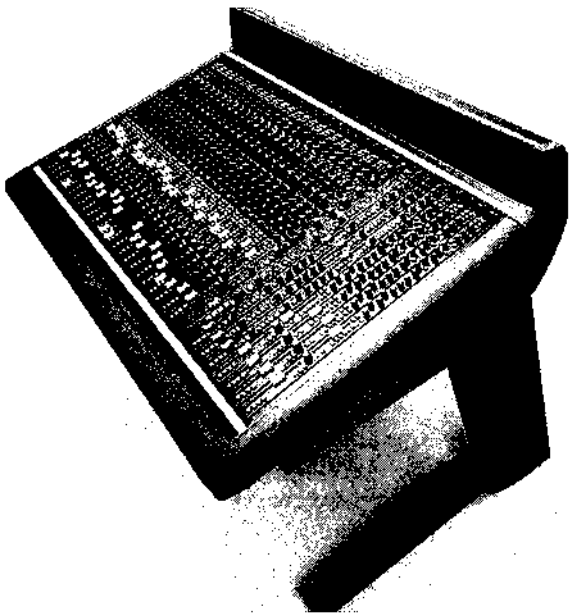
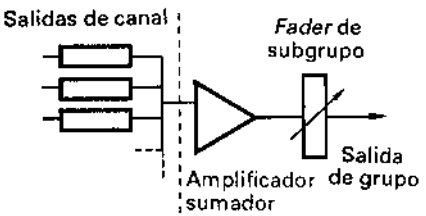


Figura 6.8 Un típico mezclador «en línea»: el «Sapphyre» de Soundcraft. (Cortesía de Soundcraft Electronics Ltd).

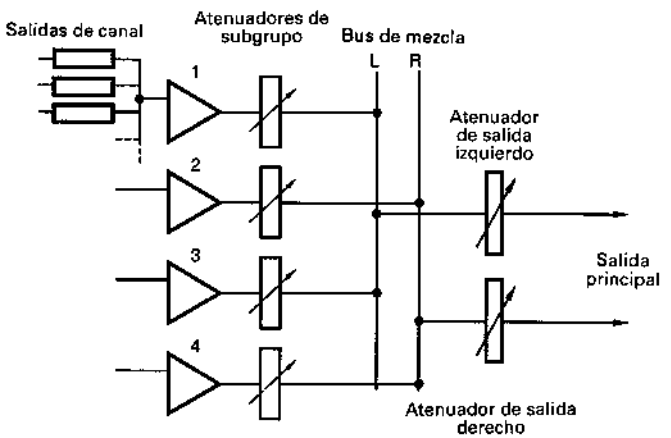
FICHA TEMÁTICA
6.4 Grupos de audio

Los grupos de audio se llaman así porque obtienen una única salida de audio que es la suma de varios canales. El nivel de la señal sumada se controla mediante un único *fader*, y existirá una única salida de grupo desde la consola que es, efectivamente, la mezcla de las señales de audio de ese grupo (ver figura). Las señales de audio que van de cada entrada al grupo se introducen a través de resistencias de valores iguales, y se envían hacia la entrada de un sumador o amplificador de masa virtual.



Las salidas de mezcla estéreo de una consola «en línea» son de hecho grupos de audio –uno para el izquierdo y otro para el derecho– porque constituyen una suma de todas las señales encaminadas a la salida estéreo e incluyen control de nivel total. De igual forma, los buses de encaminamiento de un multipista en una consola «en línea» también son grupos de audio, porque son la suma de todos los canales encaminados a sus respectivas pistas. De una forma más sencilla, algunas consolas pequeñas o antiguas tienen botones de encaminamiento en cada módulo de canal (para cuatro grupos, por ejemplo), siendo estos realmente la única vía para encaminar canales hacia las salidas principales.

Los *master* de cada grupo se sitúan normalmente en la parte central de la consola, y suelen aparecer en conjuntos de cuatro u ocho *faders*. Están distribuidos de tal modo que se puede hacer panorámica de un canal entre grupos pares e impares, y sería normal, por ejemplo, que dos de estos grupos (uno par y uno impar) se usasen como salida estéreo en un proceso de remezcla. También es bastante frecuente que, por ejemplo, los atenuadores de 8 grupos de audio se utilicen como «subgrupos», siendo ellos mismos encaminados a la mezcla estéreo. De este modo las señales de canal pueden manejarse más fácilmente encaminándolas a un subgrupo (o haciendo panorámica entre dos subgrupos), y de allí a la mezcla principal a través de un único control de nivel (el *fader* de subgrupo), como se muestra en la figura (En la figura sólo se muestran cuatro subgrupos, sin control de panorama. Los subgrupos 1 y 3 alimentan el bus de mezcla izquierdo, y el 2 y el 4 hacen lo propio con el bus de mezcla derecho. En algunas ocasiones se puede hacer panorámica con las salidas de subgrupo llevándolas a la salida principal izquierda o a la derecha).



- **FADER DE CANAL** - es el siguiente paso de la cadena, y controla el nivel individual de la señal de micrófono (o línea) conectada a ese módulo de entrada, antes de que se envíe a la cinta. Se localiza en el mismo módulo que la entrada (puede conmutarse para hacer funciones de *fader* corto o bien de *fader* largo, dependiendo de la configuración).
- **AJUSTE DE BUS «BUS TRIM» o SUBGRUPO DE PISTA «TRACK SUBGROUP»** - afectará al nivel total de todas las señales encaminadas a una pista de lectura particular. Se localiza habitualmente junto a los botones de encaminamiento de pista en la parte superior del módulo. A veces puede hacerse que un *fader* de canal actúe como *master* de grupo.
- **FADER DE MONITOR** - se sitúa en la vía de retorno que va del grabador multipista a la mezcla estéreo. No afecta el nivel grabado en el multipista, pero sí al nivel de esa pista en la mezcla (puede conmutarse para ser *fader* largo o corto, dependiendo de la configuración).

En la figura 6.8 se muestra un típico mezclador multipista con configuración «en línea».

6.3 Agrupación de canales

Agrupación es un término que se refiere al control simultáneo de más de una señal. Esto normalmente significa que un *fader* controla los niveles de varios canales esclavos. Actualmente son dos los tipos más comunes de agrupación de canales: *agrupación de audio* y *agrupación de «control»*. Esta última a menudo se llama agrupación VCA, pero existen otras formas de agrupaciones de control que no son totalmente iguales al método de control VCA. Los dos enfoques tienen resultados muy diferentes, aunque inicialmente pueden parecer muy similares debido a que un *fader* controla varios niveles de señal. La razón principal de adoptar algún tipo de agrupación de *faders* es reducir el número de controles que tiene que manejar simultáneamente el ingeniero de sonido. Además, es posible que haya situaciones en las que sea necesario atenuar o reforzar al mismo tiempo varias señales de audio. Estas señales no tienen por qué estar al mismo nivel inicial, y, por supuesto, uno es libre siempre de ajustar los niveles individualmente sin utilizar un grupo. Un conjunto de canales que lleven sonidos de una batería, o de la sección de cuerda de una orquesta, podrían ser ejemplos adecuados de grupos. Los dos enfoques se describen en las Fichas Temáticas 6.4 y 6.5.

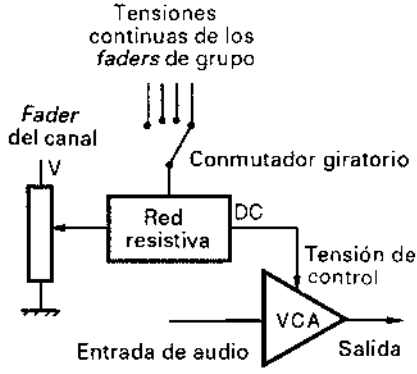
6.4 Controles típicos de un mezclador

La mayor parte de las mesas de mezcla proporcionan algún procesado de la señal de sonido en la propia consola, así como encaminamientos hacia dispositivos de procesado externo. La más común de estas prestaciones es la ecualización (un medio de controlar la ganancia a diversas frecuencias), y hay pocas consolas que no la incluyan. Además del procesado de señal, existirán diversos interruptores capaces de alterar la vía de la señal o el modo de funcionamiento de la consola. Estos pueden actuar sobre los canales individuales o bien tener una función global (afectando a la vez a toda la consola). La sección que sigue es una guía de los distintos controles que se pueden encontrar en consolas multipista. La figura 6.9 muestra la localización típica de estas secciones en un módulo de una consola «en línea».

FICHA TEMÁTICA **6.5** Grupos de control

La agrupación de control difiere de la agrupación de audio principalmente porque no da origen a una única salida suma del grupo: los niveles de los *faders* del grupo se controlan desde un sólo *fader*, pero sus salidas permanecen separadas. Tal agrupación se puede imaginar de forma similar al efecto de una gran mano moviendo muchos atenuadores a la vez, cada uno de los cuales mantiene su nivel en relación a los otros.

La forma más frecuente de lograr una agrupación de control es mediante VCA («Voltage-Controlled Amplifiers», amplificadores controlados por tensión), cuya ganancia se controla gracias a una tensión continua aplicada en una patilla de control. En el *fader* del tipo VCA, la señal de audio no pasa a través del propio *fader* sino que se encamina a través de un VCA, cuya ganancia se controla con una tensión continua dependiente de la posición del *fader*, según se muestra en la figura. Por lo tanto el *fader* transporta ahora tensión continua en lugar de señal de audio, y el nivel de audio se controla indirectamente.



El control indirecto de ganancia abre todo tipo de nuevas posibilidades. La ganancia del canal puede controlarse externamente desde distintas fuentes, bien combinando de forma adecuada la tensión de un controlador externo con la tensión del *fader* –con lo que sería posible establecer el nivel relativo del canal–, o bien rompiendo la conexión directa entre el *fader* de tensión continua y el VCA para que pueda intervenir un sistema automatizado; esto se discute en la sección 7.2. Es posible llegar a ver *faders* de grupo actuando como controles de CC, los cuales se pueden conectar a varios VCA de canal, de modo que sus ganancias aumentarían o disminuirían juntas. Aparte de esto, un VCA de canal puede asignarse a cualquier grupo disponible, simplemente seleccionando el camino de CC adecuado: esto se consigue por lo general gracias a conmutadores giratorios situados en cada *fader*, como se muestra en la figura.

En un sistema no automatizado existen normalmente grupos de atenuadores con VCA para usar como *master*. Se sitúan por lo general en la sección central del mezclador y controlan los niveles totales de cualquiera de los *faders* de canal, asignados a ellos por medio de conmutadores giratorios. En un sistema como éste, las salidas de audio de canal se encaminarían directamente a la mezcla principal, de tal manera que en esta mezcla la agrupación afecta a los niveles de los canales individuales.

En una agrupación de un sistema automatizado, se puede conseguir por medio de un autómata que cualquier *fader* sea designado como el *master* de un grupo determinado. Esto es posible porque el autómata lee los niveles de todos los *fader*, y puede utilizar la posición del *master* seleccionado para modificar los datos de vuelta de los otros *faders* del grupo (ver sección 7.2).

6.4.1 Sección de entrada

- *Control de la ganancia de entrada*
  Establece la ganancia del amplificador de entrada de línea o de micrófono para regular el nivel de la señal que entra a cada canal. Este mando es, generalmente, un ajuste «grueso» en pasos de 10 dB, acompañado algunas veces por un ajuste fino. No hay unanimidad sobre si este control debería ser continuo o en pasos discretos. El hecho de disponerlo en pasos discretos de 5 ó 10 dB tiene por objeto poder ajustar fácilmente la ganancia a unos niveles fijos.

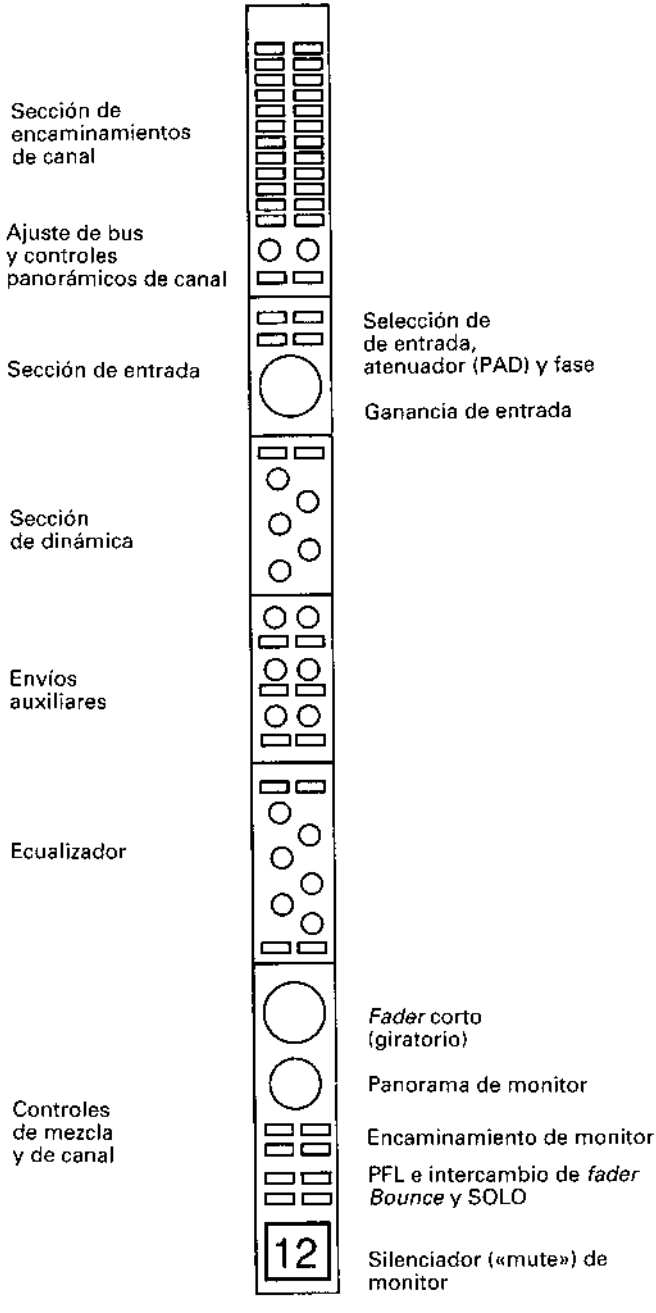


Figura 6.9 Disposición típica de los controles en un módulo de un mezclador «en línea» (para su descripción léase el texto).

- *Alimentación fantasma o «phantom»*
  Muchos micrófonos profesionales necesitan 48 voltios de alimentación fantasma (ver sección 4.9). A veces existe un interruptor en el módulo para conectarla y desconectarla, aunque la mayoría de los micrófonos balanceados que no utilizan este tipo de alimentación no se dañan si ésta se pulsa accidentalmente. Este conmutador puede estar en la parte posterior de la consola, junto al conector de entrada del micrófono, o en un panel central de conmutación asignable. Existen otros métodos: por ejemplo, en algunas consolas es necesario tirar hacia arriba del control de ganancia para conectar la alimentación «phantom».

- *Interruptor MIC/LINE*
  Conmuta entre la entrada de micrófono y la entrada de línea del canal. Una entrada de línea podría ser la salida de reproducción de un magnetófono, o cualquier otra señal de nivel alto, como un sintetizador o una unidad de efectos.

- *PAD*
  Normalmente se usa para atenuar la señal de entrada de micrófono unos 20 dB; esto es interesante para situaciones en las que el micrófono está sometido a altos niveles de presión sonora. Si situamos un micrófono delante del bombo de la batería, por ejemplo, su salida puede ser tan elevada que provoque la saturación de la entrada de *micro* del mezclador. Además, los micrófonos de condensador tienden a producir un nivel de salida más elevado que los dinámicos. Este tipo de situaciones justifican la existencia de este atenuador fijo.

- *Inversor de fase o «ϕ»*
  Suele estar situado después de la entrada de micrófono, y sirve para invertir la fase de la señal, compensar un micrófono direccional invertido, un cable mal conectado, o crear un efecto. Se mantiene normalmente hasta el final de todo el camino de la señal.

- *HPF/LPF*
  Los filtros paso alto y paso bajo son normalmente pulsadores de «todo o nada» que se encuentran en la etapa de entrada. Suelen ser filtros básicos, sin posibilidad de ajuste de frecuencia. Se pueden utilizar para filtrar zumbidos molestos o soplos en señales con mucho ruido de fondo. Filtrar ruido en esta etapa puede ser una ventaja porque ahorra el recorte posterior en la cadena.

6.4.2 Sección de encaminamiento

- *Interruptores de encaminamiento de pistas*
  El número de interruptores de encaminamiento depende de la consola: algunas tendrán 24, otras 32 y otras 48. Los conmutadores dirigen la señal de canal hacia el multipista, permitiendo también encaminar una misma señal a más de una pista. La asignación de pistas se distribuye por parejas, de tal modo que las pistas pares e impares puedan asignarse de manera conjunta, disponiendo además de un potenciómetro de panorama que se usa para hacer balance entre ellas, como si se tratara de un par estéreo. Por ejemplo: las pistas 3 y 4 podrían ser un par estéreo para las voces de fondo; de esta forma cada micrófono de voz de fondo debería encaminarse a 3 y 4, jugando al mismo tiempo con el lugar donde se ubican esas fuentes dentro de la imagen estéreo. En algunos modelos de consolas estos controles pueden reemplazarse por una sección central de encaminamiento asignable.

Es normal que haya menos interruptores de encaminamiento que pistas, con el fin de ahorrar espacio, lo que tiene como resultado varias formas de asignación de pistas. Así pues, existen botones giratorios que se utilizan para seleccionar la pista, conmutadores para la función «par/impar/ambos» (uno por cada par de pistas) y pulsadores con la función «desplazar» «shift» que seleccionan pistas mayores que un cierto número. El encaminamiento multipista se puede usar para dirigir determinadas señales hacia unidades de efectos durante la mezcla, siempre y cuando las salidas de pista no se utilicen para grabación. En este caso conectaríamos la salida de la pista en el panel de conexiones (ver a continuación) y llevaríamos esa señal hacia una entrada de efectos en algún otro punto del mismo panel. Para llevar las señales de la vía de monitor hacia los buses de direccionamiento de pistas puede ser necesario utilizar un interruptor que enlace la salida del *fader* de monitor con la matriz de asignación de pistas.

En mezcladores de sonido para teatro es habitual que el direccionamiento de las salidas se cambie muy frecuentemente, y por esto los conmutadores de encaminamiento puede localizarse cerca del *fader* del canal, en lugar de en la parte superior del módulo como en un mezclador de música. En algunos mezcladores actuales, el direccionamiento de las pistas se lleva a cabo en una matriz que se sitúa en la sección central, por encima de los *faders* principales. Esto suprime el innecesario desorden de los módulos de canal y reduce el número total de interruptores necesarios. También puede permitir almacenar en memoria las configuraciones de dicha matriz, y llamarlas en cualquier otro momento.

- *Interruptores de encaminamiento de mezcla*
  Algunas veces existe la posibilidad de direccionar la señal de salida desde la vía de canal hacia la mezcla de monitor principal, o incluso hacia uno de los cuatro grupos de salida. Estos conmutadores se situarán normalmente junto con el direccionamiento de pistas.

- *Panorama del canal*
  Se usa, junto con los interruptores de encaminamiento, para hacer panorámica de las señales de canal entre pistas pares e impares del multipista.

- *Ajuste de bus «bus trim»*
  Se usa para controlar el nivel total de un determinado bus cuando se envía hacia el multipista. Generalmente ajustará el nivel enviado a la pista correspondiente al número del módulo.

- *Par/Impar/Ambos «even/odd/both»*
  Se utiliza a veces cuando hay menos botones de direccionamiento que pistas. Cuando un botón de encaminamiento se usa para dos pistas, este interruptor determina si la señal se envía sólo al canal impar, sólo al canal par, o a ambos (en cuyo caso el control de panorama está operativo).

- *DIRECT*
  Sirve para encaminar la salida de canal directamente a la pista que corresponde en el multipista, sin pasar por los buses sumadores. Puede reducir el nivel de ruido de la consola, ya que el procedimiento de suma que se usa para combinar varias salidas de canal hacia un bus de pista puede suponer añadir algo de ruido. Si el canal se envía directamente a la pista, ninguna otra señal puede direccionarse a esa pista.

6.4.3 Sección de dinámica

Algunas consolas avanzadas incorporan control de dinámica en cada módulo, de forma que cada señal se puede tratar sin recurrir a aparatos externos. Las funciones disponibles en las

mejores consolas pueden competir con los dispositivos externos más avanzados; disponen de compresor y expansor que pueden actuar, respectivamente, como limitadores y puertas, si fuera necesario. Uno de los sistemas permite introducir la ecualización dentro de la unidad de dinámica, ofreciendo limitación dependiente de la frecuencia, además de otras prestaciones. Así mismo, es posible enlazar la acción de la dinámica de un canal con la del siguiente. Esto permite «enganchar» entre sí canales estéreo y evitar el efecto de que la imagen se vea desplazada cuando en uno de los canales hay un cambio brusco de nivel.

Cuando la dinámica se usa en señales estéreo es importante que los canales derecho e izquierdo tengan los mismos ajustes; de otro modo la imagen estéreo puede verse afectada. A veces la sección de dinámica no está disponible en cada canal, sino que hay una única sección, con distintas entradas y salidas, que puede asignarse a los diferentes canales mediante un panel de conmutación. Por el momento no entraremos más a fondo en el estudio de los controles de dinámica, pero se abordarán más detalladamente en la sección 14.2.

6.4.4 Sección de ecualización

La sección de ecualización (EQ) está dividida, a su vez, en otras tres o cuatro secciones, cada una de las cuales opera en una banda de frecuencias diferente. Como todas estas bandas tienen funciones similares, las describiremos aquí de forma genérica. Los principios de los ecualizadores se tratan con mayor detalle en la sección 6.5.

- *HF, MID 1, MID 2, LF*
  Por regla general, aparecen tres bandas de frecuencias dentro de la sección de ecualización: una banda de alta frecuencia (HF), dos bandas de frecuencias medias (MID 1 y MID 2) y una banda de baja frecuencia (LF). Si la ecualización es *paramétrica* podrá variarse la frecuencia de forma continua (dentro de un cierto margen), además de actuar sobre el «Q», y sobre los controles de refuerzo/atenuación. Si no es paramétrica, entonces puede haber unas pocas frecuencias conmutables para las frecuencias medias, y quizás una frecuencia fija para las altas y otra para las bajas frecuencias.

- *«Peak/shelf» o BELL*
  Esta función se aplica normalmente en las bandas superior e inferior, para determinar si el filtro dispone de refuerzo/atenuación dentro de una banda fija «peak» (cuyo ancho estará determinado por el factor Q), o si, por el contrario tendrá una respuesta con pendientes de refuerzo o atenuación en ambos extremos de la banda «shelf», aumentando o disminuyendo la respuesta por encima o por debajo de cierta frecuencia. En las figuras 6.13 (a) y 6.13 (b) se representan los tipos de respuesta «shelf» y «peak», conocidas también como «pendiente» y «campana», respectivamente.

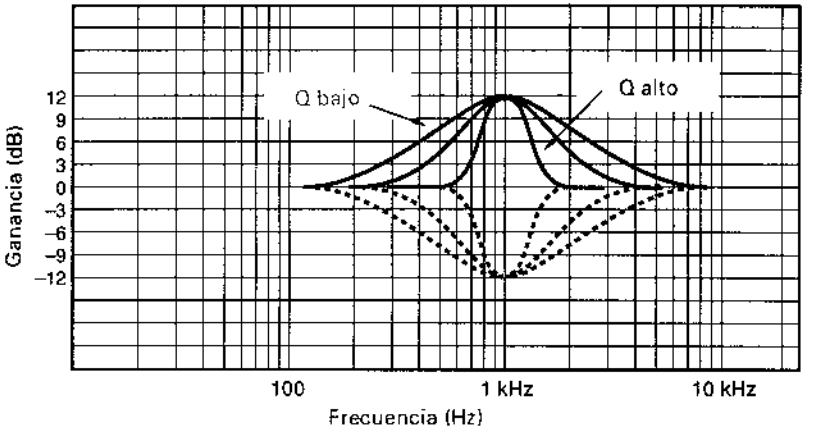
- *Q (factor de calidad)*
  El Q de un filtro se define como su frecuencia central dividido por su ancho de banda (distancia entre frecuencias donde la salida del filtro está 3 dB por debajo del máximo). En la práctica el Q determina lo «afilado» que es el pico o la muesca de la respuesta del filtro; con un Q elevado se tiene un pico más estrecho, mientras que un Q bajo equivale a una curva de respuesta más ancha. Se debería usar un Q pequeño cuando se realce o atenúe sobre un margen relativamente ancho de frecuencias, y un Q grande para actuar sobre una banda de frecuencias específica (ver Ficha Temática 6.6).

- *Control de frecuencia*
  Establece la frecuencia central de un filtro con respuesta en forma de campana, o la frecuencia de corte en un filtro con respuesta en forma de pendiente.

FICHA TEMÁTICA **6.6**

Q variable

Algunas secciones de ecualización disponen de un control adicional por medio del cual se puede ajustar el Q del filtro. Este tipo de dispositivo se denomina ecualizador paramétrico, ya que pueden ajustarse todos los parámetros: atenuación/refuerzo, frecuencia y Q. La siguiente figura muestra el efecto de la variación del Q en una sección de ecualización. Fijando un Q elevado se afecta a bandas de frecuencia muy estrechas, mientras que con Q bajos se afecta a bandas más anchas. El Q bajo hace el sonido más «cálido» porque tiene pendientes más suaves y, por tanto, el efecto sobre el sonido es más progresivo y natural. Las pendientes de un Q elevado son adecuadas para dar un énfasis especial a una banda concreta y estrecha, lo cual, puede resultar de una gran utilidad en una situación determinada. Algunos controles de ecualización reciben el nombre de paramétricos aunque el Q no sea variable. Esto es un uso incorrecto del término, y es conveniente comprobar si una sección EQ es verdaderamente paramétrica o no, aunque pueda haber sido denominada como tal.



- *Refuerzo/atenuación*
  La función «boost/cut» determina la cantidad de refuerzo o atenuación aplicado a la banda seleccionada, normalmente hasta un máximo de unos ±15 dB.

- *HPF/LPF*
  Algunas veces los filtros paso bajo (LPF) y paso alto (HPF) se sitúan aquí en lugar de en la etapa de entrada; en ocasiones, incluso, están en ambas secciones. Tienen normalmente una frecuencia de corte fija y una caída de 12 ó 18 dB por octava. A veces funcionan aunque la ecualización esté desconectada.

- *CHANNEL*
  El convenio americano está a favor de que el ecualizador principal se sitúe normalmente en la vía de monitor, pero puede cambiarse para insertarse en la vía de canal. Generalmente se conmuta al mismo tiempo el bloque ecualizador completo, pero en algunos modelos más recientes se puede manejar por separado una parte de la ecualización. Esto podría utilizarse para ecualizar la señal que se está *grabando* en el multipista. Si la ecualización está en la vía de monitor entonces sólo afectará a la señal reproducida. El convenio tradicional europeo está a favor de que el ecualizador se coloque en la vía de *canal*, para permitir la grabación con ecualización.

- *IN/OUT*
  Conecta o desconecta el bloque de ecualización. Los circuitos de ecualización pueden introducir ruido y distorsión de fase, por lo que es mejor inhibirlos cuando no son necesarios.

6.4.5 Controles de mezcla y de canal

- *Panorama*
  Ver Ficha Temática 6.2.

- *Inversor de fader*
  Intercambia entre sí los atenuadores de la vía de mezcla y la vía de canal, de modo que el *fader* largo pueda utilizarse para controlar tanto el nivel de mezcla como el nivel de canal. Algunos sistemas anulan cualquier automatización del *fader* cuando el largo se asigna a la vía de canal. El inversor de *fader* puede actuar de forma global, conmutando al mismo tiempo todos los canales. En algunos casos esto ocurre automáticamente cuando se cambia el modo de operación de la consola, o sea, al conmutar de grabación a mezcla de pistas.

- *Línea/cinta* o *bus/cinta*
  El pulsador «line/tape», o «bus/tape», sirve para seleccionar la señal que se envía hacia la vía de monitor, optando entre la *salida* de línea del propio canal y el retorno procedente del multipista. Esta orden puede actuar también de manera global, para todos los canales. En modo «bus», o «línea», las vías de monitor están, «escuchando» la salida de línea de los buses de asignación de pistas de la consola, mientras que en modo «tape» las vías de monitor están alimentadas por la señal de salida de la cinta (a menos que el monitorado del magnetófono se cambie para escuchar la entrada de línea de éste, en cuyo caso ¡«línea» y «tape» serán de hecho la misma cosa!). Si se sospecha que el magnetófono puede tener algún problema, podemos comprobar si realmente hay señal de salida de la consola; para ello se debe pasar a monitorar «line».

- *Broadcast, o «mic to mix», o «simulcast»*
  El modo «retranmisión» se utiliza para encaminar la señal de micrófono a las vías de canal y de monitor de manera simultánea, de modo que se pueda realizar una grabación multipista mientras se emite o graba una mezcla estéreo. Esta configuración significa que cualquier alteración realizada en la vía de canal no afectará a la mezcla estéreo, lo cual es importante cuando la salida de mezcla se utiliza como señal en directo (ver figura 6.10).

- *BUS o «monitor-to-bus»*
  Encamina la salida del *fader* de monitor hacia la entrada de la vía de canal (o del *fader* de canal) para que se pueda usar ésta como un envío para efectos «*post-fader*» hacia cualquiera de los buses del multipista (usados en este caso como envíos auxiliares) (ver figura 6.11). Si se dispone de un BUS TRIM en cada salida del multipista éste se puede usar como el control *master* de nivel del envío a efectos.

- *DUMP*
  El control de «volcado» se incorpora (raras veces) en algunas consolas para enviar la salida de mezcla en estéreo, después del potenciómetro de panorama de la vía de monitor, hacia los conmutadores de asignación de multipista. De este modo se puede mezclar un grupo de pistas y volcar esa mezcla hacia otras dos pistas, ajustando al mismo tiempo el nivel y actuando sobre el control de panorama, como en la mezcla de monitor (ver figura 6.11).

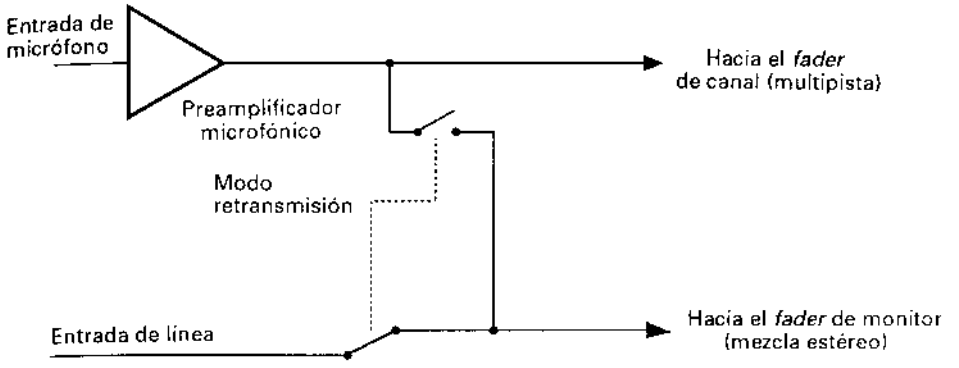


Figura 6.10 El interruptor de «modo retransmisión» en una consola en línea permite que la entrada de micrófono sea encaminada a ambas vías de señal, de tal forma que puede realizarse una mezcla estéreo en directo, independiente de cualquier cambio en los niveles de grabación del multipista.

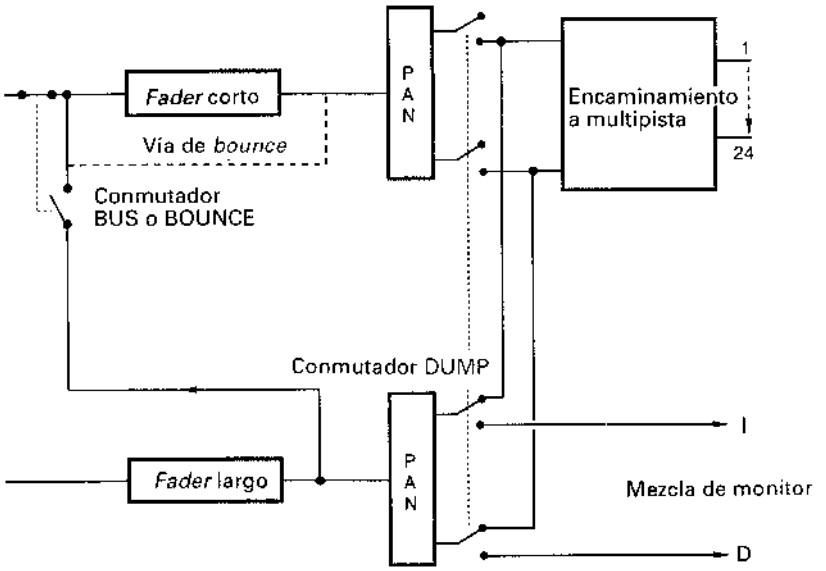


Figura 6.11 Encaminamiento de señal para los modos «bounce», «bus» y «dump» (ver texto).

- *BOUNCE*
  Esta función permite encaminar la salida del *fader* de monitor a la matriz de asignación del multipista, antes del control de panorama. De este modo se pueden mezclar un determinado número de pistas y grabar esa mezcla en un número menor de ellas. Con esto se consigue liberar pistas, que pueden resultar útiles durante la grabación. La función BOUNCE es la versión mono de DUMP (ver figura 6.11).

- *MUTE* o *CUT*
  Anula la pista seleccionada de la mezcla. Puede haber dos interruptores MUTE: uno para cortar la señal de canal procedente del envío de multipista, y el otro para eliminar la señal de mezcla procedente del mezclador.

- *PFL*
  Ver Ficha Temática 6.3.

- *AFL*
  La escucha después del *fader* «after-fade listen» es similar al PFL, excepto en que –como su nombre indica– se toma después del *fader*. Algunas veces se denomina *SOLO*, el cual encamina una versión «panoramizada» de la pista hacia los monitores principales, eliminando todo lo demás. Estas funciones son útiles para aislar señales en un intento de localizar posibles fallos. En muchas consolas el AFL es estéreo. Las funciones del SOLO son útiles cuando se aplican efectos y se ecualiza, pues permiten oír el sonido aislado y tratarlo individualmente sin escuchar el resto de la mezcla. Existe normalmente un indicador luminoso que muestra que se ha seleccionado el modo «solo», porque hay veces que no se puede oír nada en los altavoces debido a que se ha accionado un botón de «solo» en una pista sin señal. Para evitar que pueda activarse esta función algunas consolas disponen de un mecanismo de seguridad que actúa de manera centralizada.

- *In-place solo*
  En algunas consolas, el SOLO funciona como una función «in-place», lo que significa que realmente altera la salida de mezcla, inhibiendo todas las pistas que no estén puestas en SOLO y dando salida a todas las pistas que sí lo están. A veces puede ser preferible esto a la función AFL, puesto que «in-place solo» muestra la contribución exacta de cada canal a la mezcla, con el nivel de *master* que se haya fijado en cada momento. Los sistemas de automatización permiten a menudo que las funciones de «solo» sean automatizadas en grupos, de modo que pueda aislarse una sección completa en la mezcla. En algunos diseños, la función del botón de «mute» en el *fader* del monitor puede invertirse de modo que constituya un SOLO.

6.4.6 Envíos auxiliares

El número de envíos auxiliares depende de la consola, pero puede llegar hasta diez en una consola ordinaria, y algunas veces más en modelos asignables. Los envíos auxiliares son puntos en los que se toman señales desde las vías de canal o de mezcla, y se envían como salidas independientes de la consola. Pueden usarse para dar instrucciones a los músicos, envíos para efectos, preescuchas, etc. Se puede enviar a las vías de auxiliares desde cada uno de los canales, de modo que cada una de las salidas auxiliares es de hecho la suma de todas las señales enviadas hacia ella desde cada canal. En realidad son buses de mezcla adicionales. Cada auxiliar tiene su correspondiente control de ganancia general, normalmente en el centro de la consola. Puede disponer, además, de una ecualización básica. Los envíos de auxiliar son a menudo una combinación de buses mono y estéreo. Los envíos mono se suelen usar como encaminamientos para efectos, mientras que los envíos estéreo pueden tener un control de nivel y un control de panorama por canal para mezclar una fuente «foldback».

- *Envíos auxiliares 1-n*
  Son controles para el nivel de cada canal individual en la correspondiente mezcla de auxiliar.

- *Pre/post*
  Determina si el envío se lleva a cabo antes o después del *fader*. Si es anterior entonces habrá envío incluso cuando el *fader* esté al mínimo. Normalmente, los envíos «cue» serán «pre-fade», para que la mezcla se pueda enviar hacia la salida «foldback» que es independiente de la mezcla de monitor. Los envíos a efectos se tomarán habitualmente después del *fader*, con el fin de que el efecto siga el nivel de mezcla de la pista.

- *Mezcla/canal*
  Determina si el envío se toma desde la vía de canal o desde la vía de mezcla. En muchas ocasiones será conveniente tomar el envío desde la vía de canal, cuando los efectos tienen que grabarse en un multipista en lugar de en la mezcla. Esta función ha recibido el nombre de «WET» en algunos diseños.

- *MUTE*
  Anula el correspondiente envío procedente de la mezcla auxiliar.

6.4.7 Sección de controles generales

La sección de control *master,* o general, normalmente se sitúa en la mitad de la consola, o cerca del extremo derecho. Contiene algunos o todos los controles siguientes:

- *Selección de monitor*
  Son un conjunto de interruptores que seleccionan la fuente a monitorar. Incluirán magnetófonos (estéreo), envíos auxiliares, mezcla estéreo principal, e incluso algunas fuentes externas como lectores de disco compacto (CD), reproductores de cinta (casete), etc. Sólo seleccionan la señal que va a los altavoces, y no las salidas de mezcla. Esto puede ampliarse un poco con un conjunto de altavoces de estudio adicionales, los cuales tendrán un control de ganancia individual.

- *DIM*
  Reduce de manera considerable el nivel de señal (del orden de 40 dB) enviado a los altavoces, con el fin de poder silenciar rápidamente la sala.

- *MONO*
  Suma las salidas derecha e izquierda y las envía a los monitores en mono. Sirve para comprobar si se mantiene la compatibilidad al hacer esta suma.

- *Inversor de fase de monitor*
  Invierte la fase de un canal del monitorado para poder comprobar de forma rápida si existen o no inversiones de fases en la señal de entrada.

- *TAPE/LINE*
  El conmutador cinta/línea constituye una prestación global que sirve para seleccionar las entradas que se envían hacia la vía de mezcla, optando entre los retornos de cinta y las salidas de la consola que se envían hacia el multipista. Puede invertirse de forma individual para cada módulo.

- *FADER REVERSE*
  Intercambia las funciones de los *faders* largo y corto, conmutándolos entre vía de mezcla y vía de canal.

- *Record/Overdub/Mixdown*
  Normalmente configura de forma global y simultanea las conmutaciones entre entrada de línea y micrófono, *fader* largo y corto y los envíos auxiliares, dependiendo del modo de funcionamiento (puede anularse por separado en cada canal).

- *Controles de nivel de auxiliar*
  Controles *master* para ajustar el nivel general de cada salida de auxiliar.

- *Foldback* y *Talkback*
  Normalmente es posible seleccionar qué señales se envían hacia el «foldback» estéreo, o sea las señales que van a tener los músicos en sus auriculares. A veces esto implica disponer de todo un mezclador de «cue», que permite mezclar envíos auxiliares en diversas cantidades y enviarlo hacia distintas tomas estéreo. Otras veces los envíos «foldback» son más sencillos y permiten simplemente seleccionar entre mezcla estéreo y uno de los envíos auxiliares. El nivel de «foldback» puede regularse y a veces es posible enviar señales diferentes a los canales izquierdo y derecho. Por su parte, la función «talkback» (o de «ordenes») dispone normalmente de un pequeño micrófono, incorporado en la propia consola, que se utiliza para enviar ordenes a diferentes destinos. Estos pueden ser: envíos auxiliares, buses de multipista, bus de mezcla, altavoces de estudio o «foldback».

- *Oscilador*
  Los osciladores senoidales incorporados en las consolas de mezclas varían en calidad y sofisticación. Algunos sólo proporcionan una o dos frecuencias fijas, mientras que otros permiten generar cualquier valor de frecuencia. Si el oscilador es bueno se puede usar para ajuste del magnetófono, enviándolo hacia las distintas salidas de multipista o hacia el bus de mezcla. Lo mínimo que se puede pedir a una consola es que disponga de osciladores precisos a 1 kHz y 10 kHz, siendo este último de particular importancia para el ajuste de *bias* en un magnetófono analógico. El oscilador tendrá también un control de nivel de salida.

- *Slate*
  Esta función proporciona una vía directa desde el micrófono de órdenes de la consola hacia la salida estéreo. Puede utilizarse para añadir alguna información de interés o comentario durante la grabación. Normalmente lleva superpuesto un tono de baja frecuencia (alrededor de 50 Hz) para poder localizar estos comentarios durante los bobinados rápidos de la cinta.

- *Faders generales*
  Puede haber un único *fader* estéreo o dos *faders* -derecho e izquierdo- para controlar el nivel general (o *master*) de salida de la mezcla. Es frecuente que los *faders* generales de grupo se sitúen también en esta sección.

6.4.8 Retornos de efectos

Los retornos de efectos se usan como entradas adicionales al mezclador, a las que se conectan aparatos externos tales como unidades de reverberación, por ejemplo. Se localizan normalmente en la sección central de la consola y suelen ser canales de entrada de reducidas prestaciones. Los retornos a veces disponen de ecualización -por lo general más básica que en los canales- y pueden tener envíos auxiliares. Normalmente se conectarán directamente al bus de mezcla, aunque algunas veces, mediante interruptores de asignación, es posible enviar uno o más retornos hacia el multipista. El control de nivel se hace mediante un pequeño *fader* o un mando giratorio. Los retornos mono contarán también con un botón de panorama. Ocasionalmente, pueden asignarse *faders* automatizados a los canales de retorno para permitir un control automático de sus niveles en la mezcla.

6.4.9 Panel de conexiones

La mayoría de las grandes consolas disponen de un panel incorporado para hacer conexiones y encaminamientos que no están permitidos con los sistemas de conmutación que tiene la consola; permite así mismo enviar señales hacia y desde aparatos externos. Prácticamente cada

entrada y salida de cada módulo de la consola llega al panel, permitiendo que las señales se interconecten en cualquier configuración. El «patchpanel» (como se le conoce en muchos ambientes) suele estar configurado en filas horizontales, cada una de las cuales tiene el mismo número de «jacks». Verticalmente se intenta que siga el camino de la señal de la consola lo más fielmente posible, por lo que las entradas de micrófono están en la parte superior y las salidas del multipista están próximas a la parte inferior. Entre éstas hay a menudo *puntos de inserción* que permiten al operador interrumpir el camino de la señal -normalmente antes o después de la ecualización- para introducir una unidad de efectos, un compresor, o cualquier otro procesador externo de señal. Los puntos de inserción constan normalmente de dos filas, una de las cuales rompe físicamente la cadena de señal cuando se inserta un «jack», mientras que la otra no lo hace. Habitualmente es la fila inferior la que rompe la cadena, y se debería usar como entrada. La fila superior se utiliza como salidas o envíos. Los puntos de inserción suelen estar sujetos a una norma en su conexionado interno, según la cual, a menos que se introduzca un «jack», la señal pasará de la fila superior a la inferior (ver sección 13.12.3).

En la parte inferior del panel estarán todas las entradas y salidas *master*, retornos de cinta, quizás algunos «jacks» paralelos, y algunas veces varias filas libres para la conexión de otros aparatos. Algunas consolas llevan las señales microfónicas al panel, pero hay otros fabricantes que no harían esto a menos que sea absolutamente necesario, puesto que es un foco de posibles ruidos. La alimentación fantasma también puede estar presente en este panel. Los paneles de conexión se tratan con más detalle en la sección 13.12.

6.5 La ecualización con detalle

La sección de ecualización (EQ) proporciona control sobre frecuencias medias, además de los graves y agudos. Una sección de ecualización típica puede tener en primer lugar un control de alta frecuencia (HF) similar a uno de agudos pero funcionando únicamente a las frecuencias más altas. Seguidamente vendría un control de medios-altos «Hi-mid», que afecta a frecuencias desde 1 kHz a 10 kHz; la frecuencia central se ajusta mediante un control individual. Los controles de medios-bajos «Lo-mid» vendrían después, con características parecidas al caso anterior, pero funcionando sobre un rango de 200 Hz a 2 kHz, aproximadamente. A continuación llegaría el ajuste de bajas frecuencias (LF). Además de esto, se pueden incorporar filtros de alta y baja frecuencia. En la figura 6.12 se representa lo que podría ser el aspecto de una sección de ecualización típica. Ocupa bastante espacio, y por ello es bastante común que se usen controles duales concéntricos. Por ejemplo, los botones de nivel de medios-bajos y medios-altos pueden estar rodeados por otro en forma de anillo, concéntrico con aquellos, que puede seleccionar la frecuencia. De esta forma se ahorra espacio en el frente de la consola.

6.5.1 Bandas principales de ecualización

La sección HF afecta a las frecuencias más elevadas y proporciona hasta 12 dB de refuerzo o de atenuación. Este tipo de curva se denomina de tipo «shelf» porque realza o atenua poco a poco una determinada banda de frecuencias hasta un punto a partir del cual el nivel permanece más o menos constante (ver figura 6.13 (a)). A continuación está la sección de frecuencias medias-altas. Se dispone aquí de dos controles: uno para dar ganancia o atenuación y el otro para seleccionar la frecuencia central. Este último permite desplazarse sobre todo el margen de frecuencias.

La figura 6.13 (b) muestra el resultado producido cuando se fija la frecuencia en la posición de 1 kHz, denominada frecuencia central. El máximo refuerzo y atenuación afecta sobre todo a esta frecuencia , y las pendientes de la curva son considerablemente más abruptas que las de la respuesta tipo «shelf». Se la conoce normalmente como curva de «campana» (o

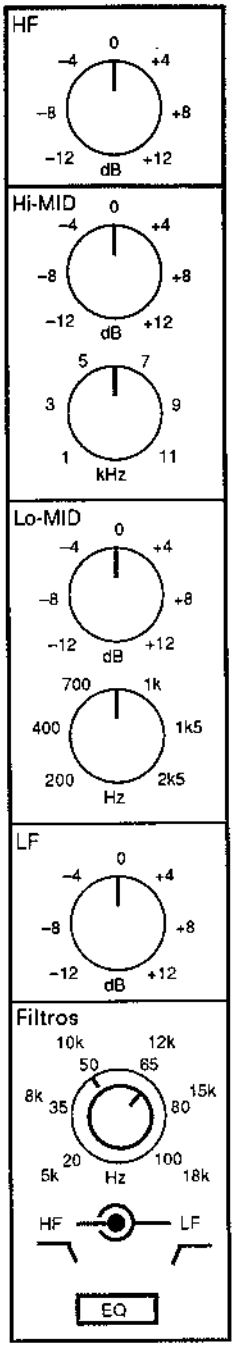


Figura 6.12 Aspecto típico de una sección de ecualización.

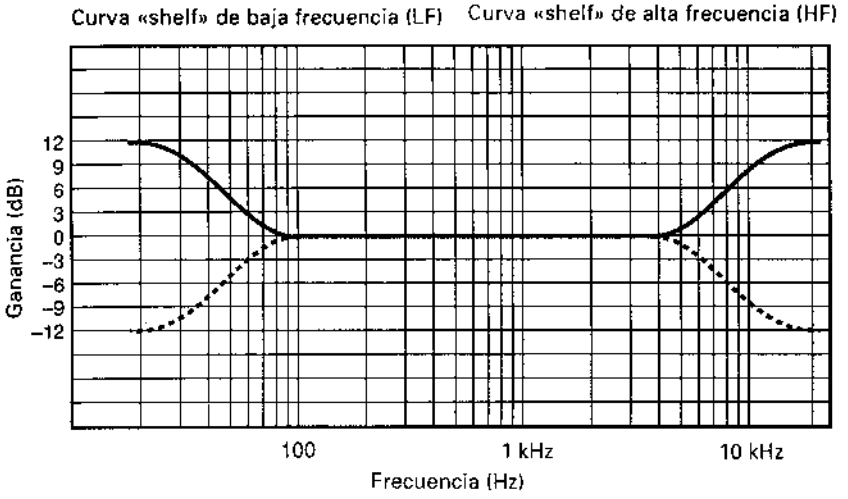


Figura 6.13 (a) Curvas características del tipo «shelf» para HF y LF, ajustadas para sus valores de máxima pendiente.

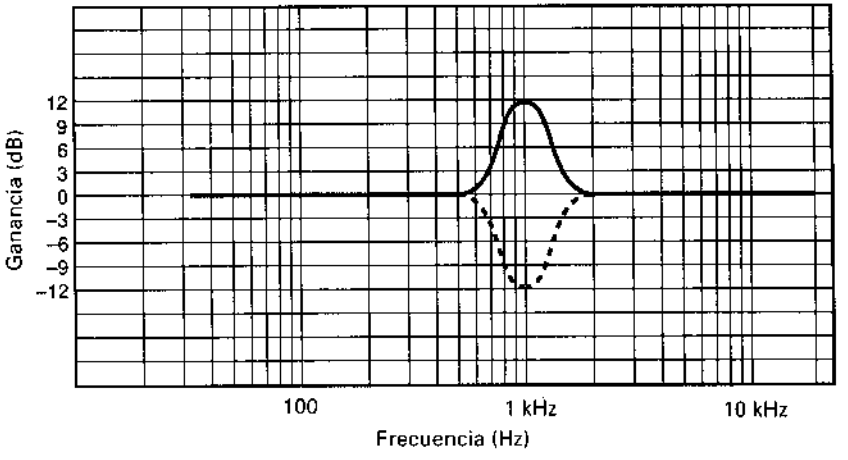


Figura 6.13 (b) Curva característica de un filtro típico de frecuencias medias con respuesta tipo «peak».

«peak»), debido a la semejanza de la porción superior con la forma de una campana. Tiene un Q bastante elevado, lo que equivale a decir que sus pendientes son muy pronunciadas. El parámetro Q se define como:

Q = frecuencia central/ancho de banda

donde el ancho de banda es la distancia en hercios entre las dos frecuencias en las cuales la respuesta del filtro es 3 dB inferior a la de la frecuencia central. En el ejemplo de la figura 6.13 (b) la frecuencia central es 1 kHz y el ancho de banda es 400 Hz, dando un Q = 2'5.

Los controles de ecualización de frecuencias medias (MF) se emplean a menudo para corregir algunos defectos en la señal de entrada. Si un determinado instrumento (o micrófono) tiene un énfasis en cualquier parte de su espectro, que provoca un sonido poco agradable,

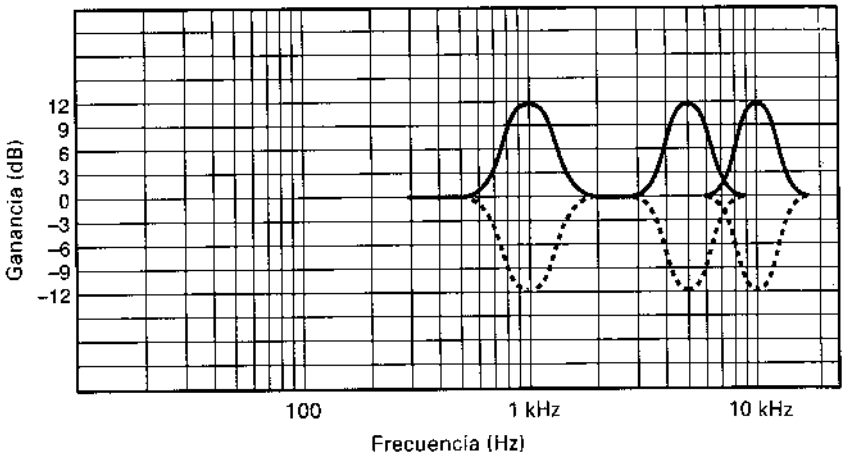


Figura 6.13 (c) Curvas características de filtros de frecuencias medias centrados en 1, 5 y 10 kHz.

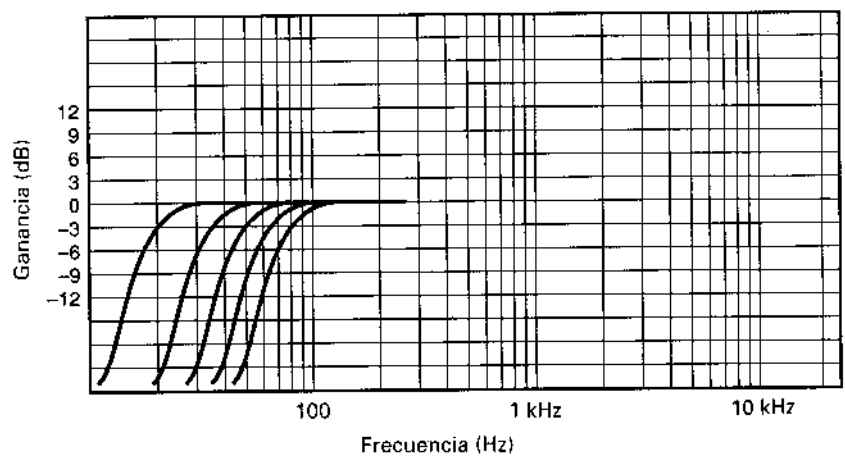


Figura 6.13 (d) Filtros paso alto con distintas frecuencias de corte.

se puede introducir un recorte en medios, localizando, mediante el control de frecuencia, la banda exacta donde se encuentra el problema. De forma similar, se puede realzar a un sonido «sordo» actuando sobre la parte de su espectro que corresponda. La figura 6.13 (c) muestra las curvas de máximo realce y máxima atenuación obtenidas con el selector de frecuencias en cualquiera de las tres posiciones de 1, 5 y 10 kHz. Si los filtros tienen un Q alto será posible actuar sobre bandas relativamente estrechas. El Q puede variarse en algunos casos, tal y como se describe en la Ficha Temática 6.6.

La sección de frecuencias medias-bajas funciona de la misma forma que la de medias-altas, con la diferencia de que cubre una banda de frecuencias más baja. Nótese, no obstante, que el ajuste de las frecuencias más altas de la banda «Lo-Mid» produce un solapamiento con las frecuencias más bajas de la banda «Hi-Mid». Esto es bastante normal, y asegura que no queden espacios en el espectro de frecuencias sin cubrir.

6.5.2 Filtros

Los filtros paso alto y paso bajo proporcionan pendientes de atenuación fijas en varias frecuencias. La figura 6.13 (d) muestra las respuestas en baja frecuencia para las posiciones de 80, 65, 50, 35 y 20 Hz. Las pendientes son algo más abruptas que en el caso de las curvas HF y LF de un filtro tipo «shelf». Para estos filtros son típicas pendientes de 18 ó 24 dB por octava. Esto permite que sean fuertemente atenuadas sólo las frecuencias más bajas -o las más altas- con un efecto mínimo sobre la banda de frecuencias medias. El zumbido de tráfico, por ejemplo, podría ser eliminado simplemente seleccionando las posiciones de 20 ó 35 Hz. Ruidos más serios de baja frecuencia pueden necesitar otros filtros con frecuencias de corte más altas. El «soplo» de alta frecuencia generado por un amplificador de guitarra o por los fuelles de un órgano de tubos, puede ser tratado seleccionando adecuadamente la frecuencia de corte de la sección HF, de forma que se atenúe suficientemente el ruido de alta frecuencia sin recortar en exceso el contenido de agudos del sonido principal.

6.6 Módulos de entrada de línea estéreo

En ambientes de radiodifusión se necesita a menudo disponer de algunas entradas para fuentes estéreo con nivel de línea, tales como cartucheras, lectores de CD, magnetófonos, etc. Tales módulos son a veces opcionales para mesas multipista, actuando como sustituto para los módulos convencionales de entrada/salida y permitiendo la atenuación o refuerzo de los dos canales con un único *fader*. El control de ecualización en estos módulos suele ser mucho más limitado, sin embargo permite seleccionar más de una fuente estéreo y encaminarla hacia la mezcla principal, al igual que el multipista. Por lo general, los módulos estéreo se colocan en zonas especiales de la consola, puesto que pueden necesitar un cableado especial. No es raro encontrar algunos capaces de manejar señales de salida de tocadiscos, aplicando en estos casos la correspondiente ecualización RIAA (ver sección 11.2).

Con el advenimiento de la televisión en estéreo, se está haciendo también importante la necesidad de entradas de *micrófono* estéreo, con la opción para señales con formato MS («Middle and Side», central y lateral) o formato AB (izquierdo y derecho convencional) (ver sección 4.7).

6.7 Mezclador para monitores

Se suele utilizar un mezclador de monitores en los trabajos de sonorización en directo, para dar una mezcla de monitor diferente a cada músico en escenario; de esta forma cada artista puede tener una escucha diferente en su monitor, de acuerdo con sus gustos o necesidades. Un mezclador integrado constará, por ejemplo, de 24 entradas, que tendrán unas prestaciones similares a las de cualquier consola convencional, excepto que debajo de la sección de ecualización habrá una fila de potenciómetros giratorios o *fader* de corto recorrido que individualmente enviarán señal desde ese canal a las salidas de grupo, con cualquier posible combinación de niveles relativos. De esta forma, cada salida de grupo dará una mezcla de monitor diferente para enviar a los auriculares o a los distintos amplificadores.

Lecturas recomendadas

Ver *Lecturas generales recomendadas*, al final del libro.

Capítulo 7

Mezcladores 2

7.1 Técnicas básicas de operación

7.1.1 Ajuste de nivel

Si se utiliza un micrófono para grabar tanto palabra como música se necesitará un ajuste de ganancia importante en la entrada. Si el micrófono está situado delante de un amplificador de guitarra la salida del micrófono será alta y se podrá utilizar una menor ganancia a la entrada. Existen tres formas esenciales de ajustar el control de ganancia a su posición óptima. La primera es por medio de PFL (ver Ficha Temática 6.3).

Se presiona PFL o se sobrepresiona el atenuador de canal *(fader)* (es decir, se presiona un microinterruptor situado al final de su recorrido); el nivel puede ser leído tanto en cada medidor individual de PFL como en los medidores principales, seleccionando monitorizar el contenido del bus de PFL. El canal de entrada debería ajustarse para obtener una lectura de 5 en el picómetro (PPM) o de 0 en el vúmetro (VU) (aunque se debe tener en cuenta que la lectura dada por el VU tiende a ser menor que la de los PPM cuando se miden señales con gran contenido de transitorios, con lo cual puede estar saturando el canal sin que el vumetro lo acuse; esto se discutirá en la sección 7.5). Este procedimiento de ajuste de ganancia se realiza a partir del nivel de señal que entrega la fuente. Es frecuente que vocalistas y guitarristas utilicen un nivel más bajo durante los ensayos que el que utilizarán en la actuación.

A continuación debería ajustarse el control de panorámica (PAN) para situar a la fuente que se esté tratando dentro de la imagen estéreo (ver Ficha Temática 6.2). Los atenuadores de salida se situarán normalmente en la posición 0 dB, ubicada normalmente en la parte superior de su recorrido. Los atenuadores de canal pueden ser ajustados para dar el balance subjetivo deseado y una lectura apropiada a la salida.

La segunda forma de ajustar la ganancia es en sí misma un buen método, y se ha de utilizar si no se dispone de PFL. En primer lugar se situarán tanto el *fader* del canal como el de salida en la posición 0 dB. Si la posición 0 dB no está indicada, entonces deberían situarse, aproximadamente, a la cuarta parte de su recorrido, empezando desde arriba. Una vez posicionados el control panorámico y los *faders,* se puede ajustar la ganancia de entrada para dar la lectura deseada en los medidores de nivel de la salida. Cuando se necesita mezclar varias señales de entrada todos los controles de ganancia deberían ajustarse de forma que se tenga el equilibrio deseado entre todas las fuentes, así como unas buenas lecturas en los medidores –normalmente 6 para el PPM, o ligeramente por encima de 0 VU, durante los pasajes más altos–.

Estos dos métodos de ajuste de ganancia difieren en que con el primero las posiciones de los *faders* de canal muestran la contribución subjetiva que cada uno tiene hacia la mezcla final,

mientras que en el segundo método todos los *faders* de los canales están situados más o menos en la misma posición.

La tercera forma es parecida a la segunda, pero cada canal es ajustado por separado, situando los *faders* de canal y de salida en la posición 0 dB y ajustando la ganancia por medio de un picómetro. Se baja completamente el *fader* de ese canal y se ajusta el siguiente canal de la misma forma. Una vez ajustados todos los canales que se van a utilizar, los *faders* de cada canal se vuelven a situar en su posición de ajuste para dar el balance subjetivo deseado y la lectura adecuada del picómetro.

La utilización de los controles de ecualización (EQ) requiere a menudo un reajuste en la ganancia de entrada del canal. Por ejemplo, si un instrumento particular necesita un realce en graves, el hecho de aplicar la ecualización incrementará también el nivel de la señal, de forma que será necesaria una pequeña reducción de la ganancia para compensar. La aplicación de filtros paso alto y paso bajo algunas veces requiere un pequeño incremento de la ganancia.

7.1.2 Utilización de envíos auxiliares

Las posibilidades del control de auxiliar (AUX) fueron descritas en la sección 6.4.6. Los auxiliares pueden estar situados antes del fader o después del fader «pre-fade», «post-fade». Los envíos a auxiliar «pre-fade» son útiles para dar una mezcla de monitor para los músicos, ya que este balance no se verá alterado por los movimientos de los *faders* que controlan la mezcla final. El ingeniero mantiene así la libertad para experimentar en el control sin molestar a los músicos.

Los envíos «post-fade» *están* afectados por los movimientos del *fader* del canal. Se utilizan normalmente para enviar señales a equipos de efectos y otros destinos donde se desee tener el nivel de auxiliar controlado completamente por el *fader* del canal. Por ejemplo, supongamos que el ingeniero quiere añadir un poco de eco a una voz. Mediante el envío Aux 2, situado en «post-fade», se envía la señal a una unidad de eco, situando el control de Aux 2 alrededor de la posición 6 y el *master* de Aux 2 al máximo. La salida de la unidad de eco se devuelve por otro canal de entrada o por un canal de retorno de eco; mediante el *fader* de este canal se regula la cantidad de eco. El nivel de eco, por tanto, subirá o bajará variando la posición del *fader* del canal.

El envío auxiliar «post-fade» podría ser utilizado como una salida adicional para excitar amplificadores y altavoces que estén en otra parte de la sala, por ejemplo.

7.1.3 Utilización de grupos

Tanto las salidas de grupo (ver sección 6.3) como los buses de encaminamiento a multipista (ver sección 6.4.2) pueden utilizarse para controlar totalmente varios grupos separados de instrumentos, dependiendo de si estamos mezclando o si estamos grabando pistas. Por ejemplo: un conjunto de batería puede llevar ocho micrófonos. Estas ocho entradas pueden ser encaminadas a los grupos 1 y 2 con el apropiado ajuste panorámico de estéreo. Enviaríamos entonces los grupos 1 y 2 a las salidas estéreo izquierda y derecha, respectivamente. Mediante este procedimiento podemos controlar el nivel del conjunto de batería simplemente actuando sobre los *faders* de los grupos 1 y 2.

Cuando se utiliza un magnetófono multipista, conviene normalmente emplear el máximo nivel posible de grabación para cada pista, teniendo en cuenta el balance final requerido; con esto se logra aprovechar mejor la relación señal/ruido de cada pista. Para facilitar esta operación, cada salida de grupo tendrá normalmente un medidor de señal.

7.2 Automatización

7.2.1 Introducción

La primera, y aún la forma más común de automatización en un mezclador, consiste en almacenar la posición que ocupan los *faders* en todo momento (cuando se están manejando) y repetir esos movimientos más tarde, de forma síncrona con el material grabado. El objetivo de la automatización ha sido el ayudar al ingeniero en el proceso de mezcla cuando el número de *fader* que necesita manejar a la vez es demasiado grande para una sola persona. La automatización de *fader* ha conseguido que los ingenieros se puedan concentrar cada vez en un area de una mezcla, construyendo y refinando gradualmente el producto definitivo.

MCI fue la primera firma que introdujo la automatización de tipo VCA para sus series de mesas de mezclas JH-500 a mediados de los 70. Esta idea fue pronto seguida por otros fabricantes, que presentaban en realidad imitaciones con algunos cambios. La automatización VCA («Voltage-Controlled Amplifier», Amplificador controlado por tensión) todavía sigue siendo la forma más popular para el control de *fader,* y también la más barata. Últimamente, sin embargo, ha habido una clara tendencia hacia el uso de *fader* móviles. A mediados de la década de los 80, gracias a la caída del precio de los microprocesadores, la automatización en las consolas ha recibido un gran impulso. Resultado de ésto han sido un gran desarrollo en áreas tales como *almacenamiento dinámico durante el proceso del programa «snapshot storage», automatización dinámica total, paquetes de retroadaptación automatizada y automatización basada en MIDI.* Actualmente, por solo unos pocos miles de libras, es posible instalar una automatización básica.

Existen fundamentalmente dos formas de memorizar y controlar la ganancia de un canal: la primera consiste en almacenar las posiciones de los *faders* y utilizar este dato para controlar la ganancia de un VCA o un DCA («Digitally-Controlled Attenuator», atenuador controlado digitalmente). La segunda almacena también los movimientos de los atenuadores pero realmente utiliza esta información para gobernar su posición mediante un motor. La primera es más barata a la hora de llevarla a la práctica, pero no es tan ergonomicamente satisfactoria debido a que la posición física del *fader* no siempre se corresponde con la ganancia del canal. La utilización de VCA en los *faders* del canal fue también tratada en la Ficha Temática 6.5.

Actualmente, se está extendiendo mucho el uso del MIDI (ver Capítulo 15) para sistemas de automatización más baratos. Con él se logra transmitir información sobre el estado de los *faders,* ayudándose de un interfaz que controla un determinado número de ellos, y convierte los valores correspondientes a sus posiciones en información tipo MIDI que puede ser almacenada en un ordenador (secuenciador). Esto resulta adecuado para casos en los que se dispone de sólo unos pocos canales, o para mezclas poco complicadas, especialmente si se emplea el secuenciador únicamente para el almacenamiento de los datos de la automatización. En casos en los que haya que hacer una mezcla grande y con mucha «acción» el control MIDI puede llegar a sobrecargarse y no dar abasto.

7.2.2 Mezcla automatizada

Veremos a continuación un ejemplo de un proceso de mezcla automatizada. Inicialmente, los músicos grabarán en un magnetófono multipista. Esto quiere decir que serán grabados todos los músicos, sección por sección e incluso instrumento por instrumento, hasta que todas las componentes de la obra musical hayan sido grabadas en pistas separadas del magnetófono. Por ejemplo: en pistas 1-7 los micrófonos de la batería; en la pista 8 el bajo; en las pistas 9-12 dos guitarras (dos pistas «limpias» directamente desde las guitarras y dos pistas a través de sus amplificadores); en pistas 13-16 teclados; pista 17 para voz principal; pistas 18-20 para voces de acompañamiento y pista 21 para un triángulo.

Los músicos se van a casa, y el productor e ingeniero se preparan para transformar esta toma multipista en una grabación estéreo. Además de las 21 pistas entrantes en el mezclador, existen dos canales más para dispositivos de eco, dos para reverberación, y dos más para otros efectos especiales, completando un total de 27 entradas al mezclador. En su forma más simple, la automatización sólo controlará los *faders* de los canales y el de salida de grupo; inicialmente sólo se tendrá esto en cuenta. Se pone en marcha la cinta y se hace manualmente un balance aproximado de todas las fuentes por parte del ingeniero. Simultáneamente se graba en la cinta un código de tiempos (ver Capítulo 16), que el ordenador utilizará como referencia temporal.

Durante el proceso de mezcla el ordenador almacena en su memoria información sobre la posición de los atenuadores y controles de enmudecimiento (MUTE). Cuando se reproduce la cinta el ordenador «engancha» con los códigos de tiempo y mueve los atenuadores «arriba y abajo» tal y como se hizo en su momento de forma manual; la resolución de estos movimientos depende de la resolución de la información almacenada en el ordenador. Algunos sistemas no mueven físicamente los *faders,* sino que actúan para controlar a los VCAs. En cualquier momento el ingeniero puede alterar la posición de los *faders* manualmente, lo cual actualizará automáticamente los datos en el ordenador. De esta forma, se pueden conseguir poco a poco mezclas sutiles y muy sofisticadas sin la necesidad de que el ingeniero tenga que actuar sobre todos los controles manualmente cada vez que se reproduce la cinta. A través del ordenador los *faders* motorizados pueden moverse muy rápidamente; como referencia, baste decir que pueden tardar unos 100 ms en recorrer las tres cuartas partes de su longitud total.

La utilización del código de tiempo permite que la cinta pueda empezar en cualquier punto, ya que tanto la pieza musical como el ordenador irán siempre sincronizados. Por lo tanto, se puede trabajar en pequeñas porciones de la cinta sin necesidad de volver a empezar cada vez. La mezcla final puede ser grabada en un disco flexible de ordenador para un futuro uso si fuese necesario. Se pueden fusionar por separado secciones de mezclas grabadas o actualizar individualmente la posición de un determinado *fader.*

7.2.3 Encaminamiento automatizado

El encaminamiento automatizado se usa principalmente en trabajos de teatro, donde puede ser necesario encaminar diferentes efectos de sonido a una compleja combinación de destinos. Se emplea una memoria estática con la información requerida, de forma que, mediante un único comando el operador prepara todo el encaminamiento para el siguiente conjunto de entradas de sonido. Esta clase de memorias estáticas pueden utilizarse también para almacenar el estado de todos los elementos que componen una gran consola en un momento determinado, de tal forma que se puede interrumpir una sesión de grabación en cualquier momento y retomarla más tarde sin perder un ápice del trabajo ya realizado –entre tanto se puede trabajar en otra mezcla completamente diferente– (ver a continuación).

7.2.4 Sistemas de automatización total

Este título tiene diferentes interpretaciones. Solid State Logic (empresa británica dedicada a la fabricación de consolas) acuñó originariamente el término «llamada total» «Total Recall» para su sistema de automatización. Este sistema no era de hecho un modo de reajustar completamente la consola sino más bien un modo de *informar* al operador en qué posición *debería* estar cada uno de los controles para que él pudiera reajustarlos a esa posición. Si bien no es un sistema totalmente automático, ahorra mucho tiempo, al no tener que apuntar las posiciones de cada potenciómetro y de cada botón cada vez que se interrumpe la sesión de trabajo. El verdadero *reajuste total* «True Total Reset» es una proposición bastante diferente y requiere de un interfaz entre el sistema de automatización y *cada control* de la consola, dis-

poniendo además de varias opciones: posibilidad de medir la posición de cada control, de reajustarlos y de mostrar en todo momento lo que está pasando.

El concepto de automatización total es inherente a los principios de una *mesa de mezclas asignable*. En tales consolas son pocos los controles que llevan directamente señal de audio, ya que son simplemente interfases del sistema de control. Por ejemplo, un botón puede controlar el filtro paso alto (HF EQ) de cualquier canal al que esté asignado. Debido a este control indirecto, normalmente vía microprocesador, es relativamente sencillo implementar una forma de almacenamiento de las posiciones de los interruptores y de los ajustes que hay en memoria, para poder retomar esas mismas condiciones de trabajo en cualquier otro momento. La mayoría de las consolas asignables analógicas utiliza el equivalente más moderno de los VCAs: el *atenuador controlado digitalmente* (DCA). Con él se regulan los niveles de varias funciones tales como ecualización (EQ), envíos auxiliares, etc. Si se quiere automatizar dinámicamente todas las funciones de la mesa (o sea, cambios continuos que se almacenan y se reproducen en tiempo real), será necesario disponer de una alta velocidad de proceso para tratar el gran número de datos que se genera sin que se note ningún defecto audible. De ahí que en estos casos sea necesario un «software» complejo y procesadores bastante rápidos, además de un mayor requerimiento de memoria que en el caso de sistemas simples de automatización.

Existen sistemas estáticos que no pretenden registrar los continuos cambios de todas las funciones, sino almacenar «fotografías» de las posiciones de los controles en un momento determinado; acto seguido estas «fotografías» pueden ser solicitadas manualmente o a través del código de tiempo. Esto puede hacerse muy a menudo (muchas veces por segundo) y en estos casos se aproxima bastante a la situación dinámica; sin embargo en otros el reajuste puede durar uno o dos segundos, lo cual excluye su utilización durante el proceso de mezcla. Los cambios han de ser «mudos» para ser útiles durante la mezcla. Otros sistemas de almacenamiento de programas simplemente guardan las posiciones de los interruptores, sin almacenar los controles variables; esto, obviamente, requiere mucha menos memoria y un menor tiempo de procesado.

7.2.5 Control integrado de cinta

El control de los magnetófonos se ha convertido en una característica común de los modernos mezcladores. Este puede incluir sólo el control remoto de transporte de cinta –pudiendo estar situado en cualquier lugar dentro del panel central– o constar de un autolocalizador y un sincronizador totalmente integrados y asociados con el resto del sistema de automatización. En las consolas más sofisticadas se dispone de controles en los propios módulos de canal para activar la pista correspondiente del multipista y dejarla en el modo «lista para grabar»; esta función va unida a la propia de grabación, disponible en la unidad de control remoto. Esto requiere un estudio cuidadoso del interfaz entre la consola y el multipista, pero implica que no es necesario tener un control remoto separado para este último.

7.2.6 Autolocalización y sincronización

Resulta de gran utilidad poder dirigir la automatización durante el proceso de mezcla: en otras palabras, la orden «ve al segundo coro» debería significar algo para el sistema, aunque se especificara de un modo abreviado. La alternativa a esto es dirigir el sistema mediante códigos de tiempo. Por lo general se dispone de teclas que permiten al ingeniero volver a cualquier punto en la mezcla, tanto en lo que se refiere a la mezcla de datos como a la posición de la cinta; el sistema de automatización sitúa al magnetófono en la posición descrita en la orden, y la cinta queda lista para reproducir «ready to play». Esta opción viene dada a menudo por un sincronizador integral que se puede comunicar con la consola, y que suele ser una adaptación

a medida de algún sincronizador ya comercializado por otro fabricante. Gracias a esto, se logra con relativa facilidad convertir una máquina con un sistema autolocalizador sencillo en un sistema complejo, capaz de sincronizar un equipo de video con un gran número de equipos de audio; para ello bastará normalmente con añadir algún módulo más al sincronizador. Sin embargo, no hay muchos sistemas que sean capaces de controlar directamente al sincronizador, y en algunos casos (desajustes entre máquinas, pequeñas pérdidas de señal en la grabación, saltos de pistas, etc.) el control debe hacerse desde el propio panel del sincronizador.

7.3 El mezclador digital

En una consola digital las señales analógicas de entrada son convertidas cuanto antes en señales digitales; así se logra que todas las operaciones se lleven a cabo completamente en el dominio digital. Disponen también de entradas y salidas digitales para conectar con equipos de grabación o con cualquier otro aparato digital (ver Capítulo 10) que no necesite de la conversión a analógico. La ventaja de ésto es que una vez que la señal está en el dominio digital es bastante más «robusta» que su «colega» analógica: es prácticamente inmune a la diafonía y no le afectan ni las capacidades del cable ni los campos magnéticos próximos al mismo; también son menores la distorsión y el ruido.

Funciones tales como ganancia, control de tono, retardo, fase, encaminamiento, o efectos como eco, reverberación, compresión y limitación, pueden ser llevadas a cabo en el dominio digital de forma precisa y tantas veces como sea necesario. Los amplificadores microfónicos pueden estar situados fuera de la mesa, junto al propio micrófono, y conectados a ésta vía control remoto. Con ello se logran dos objetivos: en primer lugar controlar desde la mesa la ganancia del amplificador, y en segundo lugar enviar por el cable señales de línea digitales, en lugar de señales a nivel de micrófono y analógicas. En cuanto a la forma de operación, el mezclador digital sigue siendo muy parecido a su pariente analógico, aunque los primeros ejemplos comerciales han seguido con la filosofía de encaminamiento asignable descrita anteriormente. En este libro no se entrará en más detalle sobre el funcionamiento de los mezcladores digitales.

7.4 Especificaciones técnicas

7.4.1 Ruido de entrada

La salida de un micrófono es del orden de milivoltios, de ahí que necesite una gran amplificación para conseguir el nivel de línea. La amplificación de la señal lleva consigo la aumentar al mismo tiempo el ruido de salida del propio micrófono (tratado ya en la sección 4.8.2). Esto no puede evitarse, como tampoco puede evitarse que se sume a él el ruido de entrada del propio mezclador. Este último debe ser lo más bajo posible para no comprometer exageradamente la relación señal/ruido. Una sola resistencia de 200 ohmios genera por sí misma 0'26 μV de ruido (con un ancho de banda de 20 kHz). Referido al nivel estándar de línea de 775 mV (0 dBu), esto equivale a –129'6 dBu. El amplificador microfónico añadirá también su propio ruido; los fabricantes especifican éste con un parámetro denominado «ruido equivalente de entrada» (REE), que debería ser medido sobre una resistencia-fuente de 200 ohmios en paralelo con la entrada.

Un amplificador con una contribución de ruido igual a la de la resistencia-fuente de 200 ohmios degradará en 3 dB su teóricamente «perfecto» nivel de ruido, de forma que el nivel equivalente de ruido de entrada será: –129'6 + 3 = –126'6 dBm (las contribuciones de ruidos procedentes de varias fuentes se suman de acuerdo con su contenido en potencia, no como niveles de tensión; para expresar nivel de ruido de entrada suele utilizarse la unidad dBm).

FICHA TEMÁTICA 7.1

Rechazo al modo común

Como se explicará en la sección 13.4, el rechazo al modo común es la capacidad que tiene una entrada balanceada para rechazar la interferencia que se pueda inducir en las líneas de señal. Una entrada de micrófono debería tener un CMRR («Common Mode Rejection Ratio», relación de rechazo al modo común) de 70 dB o mayor; esto es, debería atenuar la interferencia en 70 dB. Pero veamos cómo se hace esta medida. Es relativamente sencillo conseguir 70 dB a 500 Hz, pero el rechazo se necesita sobre todo en alta frecuencia –entre 5 y 20 kHz– y debería lograrse un CMRR de «70 dB a 15 kHz» ó «70 dB entre 100 Hz y 10 kHz». Se puede permitir que el CMRR a nivel de línea sea bastante menor, ya que el nivel de tensión de la señal es mucho mayor que en el cable del micrófono. Se considera adecuado un CMRR de 30 dB a 10 kHz.

El rechazo al modo común es una propiedad de una entrada balanceada, pero esto no es aplicable a una salida balanceada. Sin embargo algunas veces se mide la salida, lo cual da una indicación de cuánto se parecen las dos partes que la componen. Si ambas se sumaran en contrafase se conseguiría –en el caso ideal– una total cancelación. En la práctica, se debería buscar una atenuación de 70 dB.

Este es un valor de ruido bastante interesante, y los mezcladores de buena calidad no deberían sobrepasarlo. Valores alrededor de –128 dBm son algunas veces considerados excelentes, lo cual indica que la resistencia-fuente genera más ruido que el amplificador. Conviene asegurarse que el ruido equivalente de entrada está tomado con una resistencia-fuente de 200 ohmios, y un ancho de banda superior a 20 kHz, sin ponderar. Algunas veces se especifica una resistencia-fuente de 150 ohmios, lo cual dará aparentemente un mejor REE, simplemente debido a que la resistencia-fuente es menor y a que el ruido que produce es proporcional a su valor óhmico. También la ponderación «embellece» el resultado, por lo que conviene revisar siempre las condiciones de medida. Hay que asegurarse de que el REE está medido en dBm o en dBu, ya que algunos fabricantes lo dan en dBV (esto es, referido a 1 voltio), lo cual da un resultado 2'2 dB mejor.

Una entrada debería tener un alto rechazo al modo común a la vez que un bajo nivel de ruido, según se explica en la Ficha Temática 7.1.

7.4.2 Ruido de salida

El ruido de salida residual de un mezclador, con todos los *faders* al mínimo, debería ser, al menos, de –90 dBu. No tiene sentido tener un amplificador microfónico «muy silencioso» si la etapa de salida es muy «ruidosa» y tira por tierra la característica anterior. Con todos los canales encaminados a la salida, y todos los *faders* en la posición cero, el nivel de ruido a la salida (o «ruido de mezcla») debería ser, como mínimo, de –80 dBu con las entradas de canal en la posición de línea y ajustadas a ganancia unidad. Al conmutar a la posición micro inevitablemente aumentan los niveles de ruido debido a que esta operación hace que el amplificador de micrófono aumente su ganancia. Esto corrobora la razón por la que los canales de entrada deberían estar desconectados cuando no se vayan a utilizar, y sus atenuadores al mínimo. Asegúrese de que los canales auxiliares tengan también un buen nivel de ruido a la salida.

7.4.3 Impedancia

Una entrada de micrófono debería tener una impedancia mínima de 1 kΩ. Un valor inferior degrada el comportamiento de muchos micrófonos. Por su parte, una entrada de línea debe-

ría tener una impedancia mínima de 10 kΩ. Debe especificarse claramente si la entrada es balanceada o desbalanceada, así como el tipo de aparato que puede conectarse, ya que esto determinará la importancia de las entradas balanceadas de línea. Todas las salidas deberían tener baja impedancia balanceada, por debajo de 200 ohmios (600 ohmios suena bonito y profesional, pero es demasiado alta, según se explica en la sección 13.9). Así mismo, conviene comprobar que las salidas de auxiliar también son de muy baja impedancia; algunas veces no lo son. Si los canales de entrada y/o salida están provistos de puntos de inserción estos deberían tener impedancia muy baja de salida y alta de entrada.

7.4.4 Respuesta en frecuencia

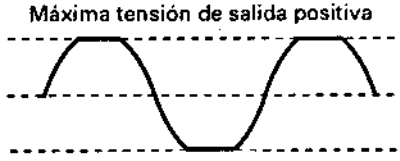
Lo deseable es que la respuesta en frecuencia sea de 20 Hz a 20 kHz, dentro de un margen de 0'2 dB, y para todas las posibles combinaciones de entrada y salida. El comportamiento de los transformadores de audio varía ligeramente dependiendo de la fuente de señal y de la impedancia de carga, y debería acompañarse de una especificación del rango de cargas entre las cuales la respuesta en frecuencia será «plana». La curva de respuesta en frecuencia caerá a partir de 20 kHz y probablemente por debajo de 15 Hz. Con ésto se consigue que las frecuencias no deseadas fuera de la banda (interferencias de radio-frecuencia o subsónicas, por ejemplo) no resulten amplificadas.

7.4.5 Distorsión

La distorsión debería medirse para máxima ganancia en el mezclador y con un nivel de salida de, al menos, +10 dBu. Esta será la situación peor, y la distorsión armónica total (THD) en este caso no debería sobrepasar el 0'1 %. Para niveles más bajos de ganancia de entrada

FICHA TEMÁTICA **7.2** Recorte por saturación

Un buen mezclador estará diseñado para dar un nivel máximo a la salida de al menos +20 dBu; muchos alcanzarán, incluso, los +24 dBu. Por encima de este nivel eléctrico se producirá un recorte, cuyo resultado es que la forma de onda de la señal de audio resultará «aplastada» en su parte superior e inferior, produciéndose un repentino aumento de la distorsión (ver figura).



Es muy difícil que aparezca el recorte en las etapas de salida del mezclador ya que el nivel de referencia de 0 dBu normalmente corresponde con 4 del picómetro (PPM) ó –4 del «vúmetro» (VU). La máxima medida en un picómetro corresponderá en este caso a un nivel de señal a la salida de unos +12 dBu, y habría que estar prácticamente doblando las agujas del medidor para que se apreciara el recorte.

El recorte, aunque se puede producir en cualquier punto de la cadena de señal, aparece especialmente cuando existe un gran refuerzo en la etapa de ecualización. Si hemos aplicado, por ejemplo, un refuerzo de 12 dB en un canal, y el *fader* se encuentra por encima de la posición de 0 dB, puede haber recortes en el bus de mezcla, dependiendo de los márgenes de sobrecarga de éste. Por esta razón no se deberían dar grandes refuerzos en la etapa de ecualización sin la correspondiente reducción de la ganancia total del canal.

la distorsión deberá ser, lógicamente, menor: alrededor del 0'01 %. Conviene que las salidas sean cargadas con una impedancia bastante baja, lo cual implicará que las etapas finales deben entregar más corriente que con una impedancia más alta. Un valor típico es el de 600 ohmios. Los conceptos de margen de recorte y margen de sobrecarga se explican en la Ficha Temática 7.2.

7.4.6 Diafonía

Una señal presente en una de las entradas puede inducirse en parte en cualquier otro canal; a este hecho se le denomina *diafonía* «crosstalk». La diafonía de los canales adyacentes debería estar muy por debajo del nivel de salida de la señal principal, y debe procurarse trabajar con equipos con valores de –80 dB o menos. El efecto de la diafonía tiende a manifestarse debido al acoplamiento capacitivo en los cableados. Para frecuencias altas hay que buscar valores de diafonía de –60 dB a 15 kHz. De forma similar, la diafonía de muy baja frecuencia también deteriora la señal, debido al aumento de la impedancia de la fuente de alimentación; en este caso se considera razonable un valor de –50 dB a 20 Hz.

Conviene asegurarse que la diafonía entre todas las combinaciones de entradas y salidas sea buena y de un valor parecido. Algunas veces la diafonía entre canales auxiliares es bastante más «pobre» que entre las salidas principales.

7.5 Sistemas de medida

Los mezcladores de audio están provistos de sistemas de medida, para indicar los niveles de las señales que entran y salen de la consola. Es fundamental hacer buen uso de estos instrumentos de cara a conseguir en todo momento los niveles de grabación más apropiados (y evitar así, la distorsión y el ruido).En esta sección se examinan las características de diferentes sistemas de medida.

7.5.1 Medidor mecánico

Hoy en día existen dos tipos de medidores mecánicos básicos: el vúmetro «VU = Volume Unit» (figura 7.1) y el picómetro «PPM = Program Peak Meter» (figura 7.2). Ambos son muy diferentes entre sí, siendo la única similitud el hecho de que ambos estén formados por una

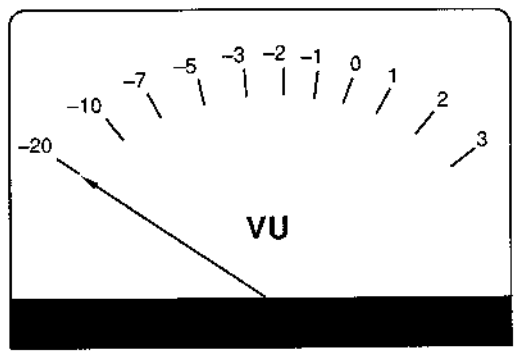


Figura 7.1 Escala típica de un vúmetro (VU).

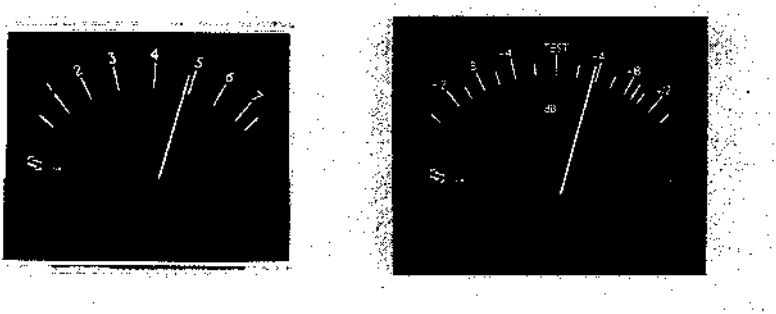


Figura 7.2 a) Picómetro (PPM) tipo BBC. b) Picómetro tipo europeo.

FICHA TEMÁTICA

7.3 Medida y distorsión en la cinta

Dentro de un estudio suele haber un «nivel de referencia local» y un «nivel de grabación de pico local». El nivel de referencia indica el nivel que debería medirse en los medidores de la consola, debido a un tono de alineación de 1 kHz procedente de una cinta de prueba. Puede corresponder a una indicación de 4 ó 5 en un picómetro de tipo BBC, lo cual equivale a –4 dB ó 0 dB en un vúmetro (la relación entre vúmetros y picómetros depende de los valores utilizados como estándar, según se describe en la sección 7.5). Una medida de 4 en el picómetro normalmente se corresponde con un nivel de 0 dBu en la salida principal de la consola. El tono de la cinta de prueba habrá sido grabado con un nivel de flujo magnético específico (normalmente de 320, 250 ó 200 nanowebers por metro, nWb m^{-1}), dependiendo del estándar de grabación en uso. Se establece, por tanto, una relación entre la lectura del medidor y el campo magnético de grabación. Este asunto será cubierto con detalle en el Capítulo 8.

El nivel magnético de grabación es precisamente el factor más importante, que influye en la distorsión y compresión en cualquier grabador analógico; cualquier distorsión introducida por los circuitos electrónicos será mínima comparada con la anterior, a menos que el nivel sea excesivamente alto (por encima de los +20 dBu, lo cual haría que se doblaran las agujas en la mayoría de los medidores normales). Tanto las cintas profesionales modernas como los magnetófonos tienen especificado este parámetro. Se indica también el nivel máximo de salida (MOL), que es normalmente el punto en el que la distorsión debida al tercer armónico alcanza el 3 % de la salida total, cuando se está grabando un tono de 1 kHz (ver Apéndice 1). Este es un nivel de pico de grabación aceptado generalmente, por encima del cual no es recomendable aventurarse a no ser que se requiera un efecto particular; en las cintas modernas suele situarse entre los 8 y 12 dB por encima de los 320 nWb m^{-1}. Por tanto, si se hace un ajuste para que una medida de 4 en el picómetro (ó –4 en el vúmetro) corresponda con un nivel magnético de 320 nWb m^{-1}, cuando se mida en el picómetro un 6 estaremos 8 dB por encima de esa referencia, y una medida de 7 indicará 12 dB por encima; el nivel de grabación de pico estará entre estos dos valores. Es evidente que el ajuste debe adaptarse a los requerimientos individuales de cada estudio, pero esto son sólo las líneas generales de operación. En radiodifusión el nivel de pico suele ser de 6 en el picómetro, para evitar la sobremodulación en los transmisores.

aguja móvil. El picómetro del tipo BBC (británico) se caracteriza por su color negro que lo diferencia del resto. Su escala está numerada del 1 al 7, con números equiespaciados, habiendo 4 dB de diferencia entre cada graduación, excepto entre el 1 y el 2, donde suele haber una diferencia de nivel de 6 dB. El picómetro de la UER (Unión Europea de Radiodifusión), también en la figura 7.2, tiene una escala calibrada en decibelios. El vúmetro, por su parte, suele ser blanco o color crema, con una escala que va de los –20 dB hasta +3 dB, situada alrededor del punto cero, que es normalmente el nivel eléctrico de referencia del estudio.

Aunque en esta sección no se pretende tratar sobre los niveles de alineación o de ajuste en magnetófonos, es imposible hablar de los instrumentos de medida sin hacer referencia a estos tópicos, ya que están intrínsecamente interrelacionados. Es importante conocer cómo la lectura dada por los medidores se relaciona con los niveles estándar de alineación en un entorno particular, y entender que estos valores estándar pueden variar entre los establecidos. En la Ficha Temática 7.3 se discute la relación existente entre lo que indica el medidor y el nivel de grabación en un magnetófono.

7.5.2 Problemas de los medidores mecánicos

Los picómetros responden bien a los picos de señal; esto es, tienen un rápido tiempo de ataque, mientras que en los vúmetros ocurre todo lo contrario: tienen un tiempo de ataque más lento. Esto quiere decir que los vúmetros no dan una representación real del nivel de pico que se envía a la cinta. Esto ocurre sobre todo en los casos en los que la señal que se está grabando tiene un gran contenido de transitorios –como el clavicordio, por ejemplo–; no es raro que en estos casos la lectura del vúmetro esté 10 ó 15 dB por debajo de la que da el picómetro. Esto puede llevar a una sobremodulación de la grabación, especialmente con los grabadores digitales, los cuales son muy sensibles a la sobrecarga de pico. Sin embargo, muchas personas están acostumbradas a trabajar con vúmetros, y han aprendido a interpretarlos. Son buenos para la medida de señales continuas, tales como tonos, pero su validez como monitor de programa está puesto en duda en la era de la grabación digital.

Los vúmetros no tienen control sobre el tiempo de caída de la aguja, que es casi el mismo que el tiempo de ataque. Por el contrario, los picómetros están estudiados para tener un rápido tiempo de ataque y un tiempo de caída más lento, lo cual tiende a ser más útil subjetivamente. El picómetro fue diseñado para indicar picos que podrían causar una distorsión audible, pero no mide el nivel absoluto de pico de la señal. Los medidores mecánicos ocupan bastante espacio en una consola, y resulta imposible a veces poder encontrar espacio para un medidor por canal, en el caso de una consola multipista. En este caso suele haber medidores sólo en las salidas principales, y quizás en algunas auxiliares. En consolas más caras los medidores de aguja se sustituyen, o se ven complementados, por medidores electrónicos en forma de barra, que consisten en una fila de LED, «displays» de cristal líquido o algún tipo de pantallas de «plasma».

7.5.3 Medidor electrónico de barra

A diferencia de los medidores mecánicos, las barras electrónicas no tienen que superar la inercia mecánica de una aguja, así que pueden tener un tiempo de ataque efectivo infinitamente más alto que las anteriores; esto, no obstante, puede no ser ideal en la práctica. Los medidores de barras más baratos están hechos con una fila de LED («Light Emitting Diodes», diodos emisores de luz), y la precisión de la medida depende del número de LED utilizados. Este tipo de «display» es adecuado algunas veces, pero, a no ser que haya muchas gradaciones, es difícil utilizarlo para aplicaciones lineales. Los medidores de plasma y de cristal líquido parecen casi continuos de arriba a abajo; al contrario de lo que ocurre con los LED, estos no son

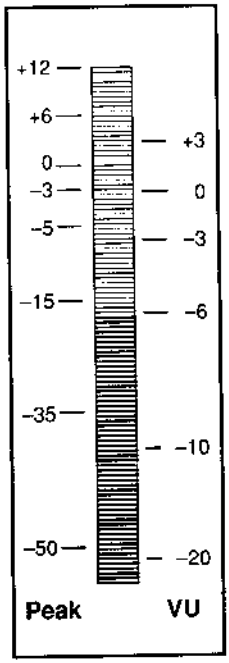


Figura 7.3 Aspecto típico de un picómetro tipo barra, con escala de vúmetro opcional.

tan «chillones», lo que ayuda a trabajar más cómodamente durante más tiempo. Estos «displays» suelen cubrir un rango dinámico bastante mayor que cualquier medidor dinámico –desde –50 dB hasta + 12 dB– y esto puede ser muy útil para acusar la presencia de señales que no mostraría un picómetro mecánico. En la figura 7.3 se representa un ejemplo de medidor de este tipo.

En estos medidores existe a veces la opción de conmutar su tipo de respuesta: de modo «pico» (PEAK) a modo vúmetro (VU); en este último caso se imitará la escala y respuesta balística de un vúmetro.

En muchos de los diseños existentes en el mercado se pueden utilizar los medidores multipista como analizador de espectro, mostrando un análisis de hasta un tercio de octava de la señal a medir. En ocasiones, los *displays* de barra ofrecen la posibilidad de tener un detector de pico incorporado. Una de las ventajas principales de estos medidores verticales de barras es que ocupan muy poco espacio horizontal, y ello permite tener un medidor por cada canal de la consola: resulta evidente la ventaja que esto supone a la hora de grabar en un magnetófono multipista, pues podemos ver simultáneamente todos los canales. En el caso de una mesa «in-line», la señal que llega a cada medidor se toma normalmente de la entrada al bus de monitor.

También se pueden colocar medidores en las salidas del envió a auxiliar, para tener conocimiento del nivel que se está mandado a los dispositivos auxiliares, tales como unidades de efectos. Estos suelen ser menores que los medidores principales, o pueden consistir en una barra de LED con una resolución más baja. Otra opción que aparece en muchos casos es un medidor de fase o correlación. Se conecta normalmente entre las salidas izquierda y derecha del monitor principal para indicar el grado de correlación de fase entre estas señales. El medidor de fase puede ser mecánico o electrónico. En estudios de radiodifusión pueden existir, además, medidores de suma y diferencia (o M y S), que indican si la señal estéreo es compa-

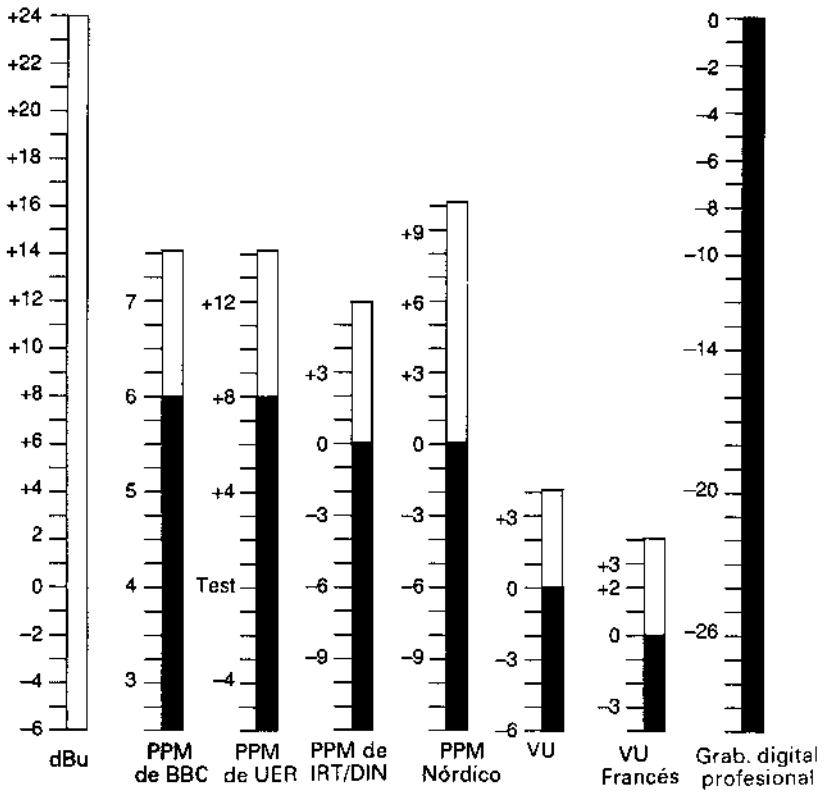


Figura 7.4 Comparación gráfica entre niveles eléctricos en dBu y distintas escalas de los medidores de uso más común (Cortesía de David Pope).

tible con mono, a efectos de una transmisión en estéreo. Estos suelen aparecer junto al medidor estéreo de los niveles de salida izquierdo y derecho.

7.5.4 Equivalencia entre diferentes métodos de medida

La equivalencia entre lo que indica el medidor y el nivel eléctrico de salida varía dependiendo del tipo de medidor y de la zona del mundo en que nos encontremos. La figura 7.4 muestra unas cuantas escalas de los medidores más comunes, así como la relación entre ellas y los niveles eléctricos de salida del mezclador. Como se explicó en la Ficha Temática 7.3, hay un parámetro más a tener en cuenta, y es la relación que existe entre el nivel eléctrico de salida del mezclador y el nivel de grabación en un magnetófono analógico o digital; esto se aborda con detalle en la Ficha Temática 8.5.

7.5.5 Punto de inserción del medidor

Los circuitos medidores del nivel de salida deberían ir conectados directamente en las propias salidas, así registrarían los niveles reales que entrega el mezclador. Esto puede parecer

bastante evidente pero hay modelos en los que no es así: el medidor toma la señal en el punto situado justo antes de los amplificadores de salida. En tales configuraciones, si falla un cable o una pieza de los equipos a los que está conectado el mezclador, o si hay un cortocircuito a la salida, el medidor seguirá indicando niveles normales, y la falta de señal que no llega a su destino será atribuida a otras causas. Se puede consultar el esquema del circuito del mezclador para averiguar el tipo de montaje que se ha empleado. Si éste no está claro, se puede actuar de la siguiente manera: se envía un tono fijo de prueba a la salida del mezclador, de forma que dé un valor alto en el medidor. Después se provoca deliberadamente un cortocircuito en la salida (el amplificador de salida normalmente no se dañará si el cortocircuito no pasa de varios segundos) y se observa el medidor. Si el nivel indicado se reduce drásticamente entonces el medidor está registrando correctamente la salida real. Si sigue dando una lectura alta entonces es que el medidor está tomando la señal desde cualquier otro punto.

Lecturas Recomendas

Ver *Lecturas generales recomendadas* al final de este libro.

Capítulo 8

Grabación analógica

La grabación analógica del sonido es el proceso mediante el cual una onda eléctrica continuamente variable, que representa una señal acústica (ver Capítulo 1), es convertida en un patrón de modulación sobre un medio físico. Este patrón debe ser análogo a la señal original, y podrá ser almacenado y reproducido posteriormente. En la grabación en cinta el registro se lleva a cabo por medios magnéticos, de tal forma que la magnetización (fuerza y dirección del campo) que resulta en este proceso será un fiel reflejo de la onda sonora original. La grabación analógica difiere de la grabación digital (ver Capítulo 10) en que en el primer caso la señal grabada es física y temporalmente continua, mientras que la grabación digital es discreta en el tiempo (muestreada) y se almacena en forma de datos. Un análisis en profundidad del patrón de modulación de una grabación analógica mostraría claras similitudes con la forma de onda del sonido original, mientras que sería improbable ver alguna similitud en un análisis visual de una señal grabada digitalmente.

8.1 La cinta magnética

8.1.1 Estructura

La cinta magnética consta de una lámina alargada de material plástico sobre una de cuyas superficies se añade un revestimiento capaz de retener flujo magnético, de forma similar a como se magnetiza una varilla de hierro sometida a la acción de un imán (ver figura 8.1.). Los primeros grabadores usaban en realidad un hilo de hierro como soporte de la grabación. En la práctica, toda cinta magnética moderna tiene una base de poliester que fue elegida –después de varios intentos con otros compuestos que demostraron ser demasiado frágiles (se quebraban fácilmente) o demasiado maleables (se estiraban)– por su alta resistencia y buena estabilidad en las dimensiones. Este es el soporte más usado en la actualidad para cintas magnéticas, y podemos encontrarlo tanto en un microcasete para dictáfonos como en cualquiera de la gran variedad de cintas multipistas de 2 pulgadas (5 cm) de ancho. El revestimiento es un óxido de metal o una aleación de partículas metálicas.

El revestimiento más comúnmente usado es el óxido gamma-férrico, un tipo de herrumbre purificada con partículas modeladas de forma especial (representadas por «gamma»). Este

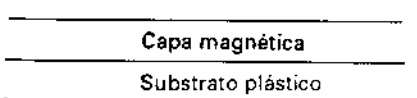


Figura 8.1 Sección transversal de una cinta magnética.

compuesto se utiliza en las casetes, junto con otras composiciones alternativas de dióxido de cromo y sus sustitutos, así como partículas metálicas. Además, es de uso casi exclusivo en cintas *master* analógicas en bobina abierta de cualquier ancho –cuarto de pulgada, media pulgada, 1 pulgada y 2 pulgadas– aunque alguna marca o compuesto puede no estar disponible en todos los anchos.

8.1.2 Historia reciente

La compañía alemana BASF presentó un compuesto de dióxido de cromo a principios de los años setenta, anunciando una mejor respuesta en alta frecuencia y una mejora en la relación señal/ruido. La patente de este producto estimuló a otros fabricantes a experimentar con compuestos alternativos y ese esfuerzo dio como resultado un material que consistía en un óxido de hierro enriquecido con cobalto. Se presentó entonces la llamada cinta de «ferro-cromo» que consistía en una capa de óxido férrico sobre la cual se aplicaba otra de dióxido de cromo o un sustituto de éste. Las altas frecuencias tienden a quedar registradas cerca de la superficie de la capa de óxido, mientras que las frecuencias más bajas se registran a más profundidad. Por consiguiente, con esta doble capa se trató de explotar este efecto, aprovechando las ventajas de buena respuesta de la capa superior a las altas frecuencias junto con la firmeza de la capa inferior en las áreas de distorsión y su buena respuesta a las bajas frecuencias. Este compuesto se usa muy poco en la actualidad, en parte porque tendía a mostrar unas características de distorsión espantosas en las frecuencias medias, y también por las mejoras que ha habido en los compuestos estándar de hierro y cromo.

Durante los años ochenta se desarrolló la cinta de metal puro para el formato de casete. Inicialmente supuso grandes dificultades para los fabricantes, debido al hecho de que las pequeñas partículas de hierro puro o de aleación de hierro, del tamaño necesario para una cinta de grabación, tendían a oxidarse rápidamente: ¡se quemaban!. En todo caso, este problema pudo ser solucionado y las casetes de metal se lanzaron al mercado aunque con un precio algo más elevado que las de óxido. Necesitaban además un equipamiento especial en los grabadores/reproductores, con cabezas de grabación y circuitería capaces de magnetizar realmente la alta coercitividad de las cintas de metal. Muchos de los aparatos a casete más económicos, aunque se les intentó dotar de la posibilidad de trabajar con estas cintas y se anunciaban como tales, no pudieron aprovechar totalmente las mejoras de este soporte. La coercitividad de la cinta –su permisividad a aceptar y retener el flujo magnético– era tal, que las cabezas de grabación más baratas se saturaban magnéticamente incluso antes de que lo hiciera la propia cinta, debido a las extremadamente grandes corrientes de polarización, o *bias*, necesarias para magnetizarla (ver sección 8.2.3). Trabajando con cintas de metal y con buenos grabadores/reproductores se consiguieron al mismo tiempo importantes mejoras en distorsión, nivel de salida y relación señal/ruido.

La fórmula de metal encontró una aplicación ligeramente diferente, cuando su capacidad de alta densidad de empaquetamiento demostró ser ideal para grabación digital en cinta, en formatos especiales como el R-DAT (ver sección 10.5.3), así como para videocámaras domésticas portátiles.

8.1.3 La cinta de casete

La cinta de casete se presenta en diversas longitudes para conseguir los tiempos de grabación apropiados a cada aplicación: «C5» permite 2'5 minutos de grabación por cada cara, «C90» ofrece 45 minutos por cada cara, etc. Cuanto mayor es el tiempo disponible de grabación, más delgadas son las cintas, con el fin de que quepan en el mismo carrete. La casete C120 tiene una cinta muy delgada, lo que causa problemas en muchos equipos al no ser capaces sus mecanismos de transporte de manejar adecuadamente una película tan delicada y ligera. Se atasca a veces

en el rodillo presor de goma, al pasar entre éste y el cabestrante, llegando incluso a enrollarse alrededor de él. Una cinta excesivamente delgada no se adapta bien a las guías que existen dentro del propio cartucho, lo que puede ser el origen de un mal contacto cabeza-cinta, con la consiguiente pérdida de señal de salida y de respuesta en frecuencia. Sería difícil encontrar hoy día algún fabricante de pletinas de casete que autorice el uso de cintas C120 en sus equipos.

8.1.4 La cinta de bobina abierta

La cinta de bobina abierta de cuarto de pulgada propuesta para grabadores analógicos ha sido utilizada en varios espesores. La cinta estándar (SP) tiene un espesor de 50 micras y un tiempo de grabación (a la velocidad de 39 cm (15 pulgadas) por segundo) de 33 minutos sobre una bobina de 25 cm (10 pulgadas) de diámetro. La cinta de larga duración (LP) tiene un espesor de 35 micras, correspondiendo a un tiempo disponible de 48 minutos, muy útil para grabación en directo. Antiguamente los espesores para doble duración (DP) e incluso triple duración (TP) han sido muy utilizados, sobre todo por el mercado doméstico de aparatos en bobina abierta. Estas configuraciones son propensas a quebrarse o estirarse, a la vez que ofrecen una calidad de sonido algo pobre; por lo tanto, no deberían considerarse para su uso en el campo profesional.

La cinta estándar está casi siempre recubierta en su cara posterior. Durante la fabricación se aplica a esta cara un recubrimiento rugoso con lo que se consigue un arrollamiento más limpio y uniforme, dado que se produce una cierta fricción entre capas de cinta que hace que ésta se mantenga alineada y en su lugar. La superficie rugosa evita, además, que el aire quede atrapado entre capas de cinta durante el rebobinado rápido, lo que podría provocar un bobinado desigual. Para la cinta de larga duración se emplea también recubrimiento posterior, aunque no en todos los casos. Es importante mencionar que los rebordes o tapas del carrete deben servir solamente para protegerla de cualquier daño, no para alinear la cinta durante su bobinado. La «torta» debería enrollarse en el carrete de tal forma que no llegase a tocar estos rebordes. Los carretes metálicos son mejores que los de plástico porque son más rígidos y no se curvan tan fácilmente. La cinta en bobina abierta para uso profesional puede adquirirse bien sobre carretes o en forma de «torta» arrollada sobre un eje sin tapas. Este último tipo es, desde luego, más barato, pero debe manejarse con gran cuidado para evitar que el carrete pueda desenrollarse. Antes de su uso se enrollan sobre un carrete vacío o se colocan sobre un soporte especial parecido a un carrete, pero sin la tapa superior. En los magnetófonos profesionales la situación de los carretes es invariablemente horizontal. Las cintas de media pulgada, 1 pulgada y 2 pulgadas, pensadas para grabadores multipista, vienen siempre arrolladas sobre carretes, tienen un espesor estándar (50 micras), y llevan normalmente un recubrimiento posterior.

Las cintas en bobina abierta deben llevar un número de lote impreso sobre la caja. Este número asegura que todas las cintas de un determinado lote fueron fabricadas al mismo tiempo, de forma que tendrán virtualmente idénticas propiedades magnéticas. Puede ocurrir que distintas «hornadas» de fabricación tengan propiedades ligeramente diferentes. En el estudio podrán ajustarse los magnetófonos cada vez que se estrena uno de estos lotes, a fin de mantener siempre constantes las condiciones de grabación. Puede decirse, sin embargo, que tales variaciones de una bobina de cinta a otra son mínimas en la actualidad.

8.2 El proceso de grabación magnética

8.2.1 Introducción

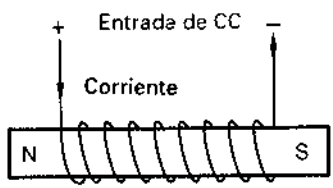
Partiendo del hecho de que la cinta es magnética, el proceso de grabación debe convertir una señal eléctrica de audio en un modelo magnético. En reproducción, la señal magnética grabada debe ser reconvertida de nuevo a un modelo eléctrico. El proceso queda explicado en la

Ficha Temática 8.1. Normalmente un magnetófono profesional tiene tres cabezas magnéticas, tal como se muestra en la figura 8.2, con el siguiente orden y función: borrado-grabación-reproducción. Esto permite que la cinta sea inicialmente borrada, seguidamente regrabada (si es que ya tenía algo grabado anteriormente) y finalmente reproducida y monitorada por la tercera cabeza. La estructura de las tres cabezas es similar, si bien el entrehierro de la cabeza de reproducción es normalmente más estrecho que el de la cabeza de grabación. Es posible usar la misma cabeza para ambos propósitos, pero ello obliga a un compromiso entre ambas funciones. Una configuración de dos cabezas (grabación/reproducción y borrado) es la que se suele encontrar generalmente entre los magnetófonos más económicos, los cuales no nos permitirán monitorar la señal durante la grabación. En la figura 8.3 se muestra un diagrama de bloques simplificado de un magnetófono típico.

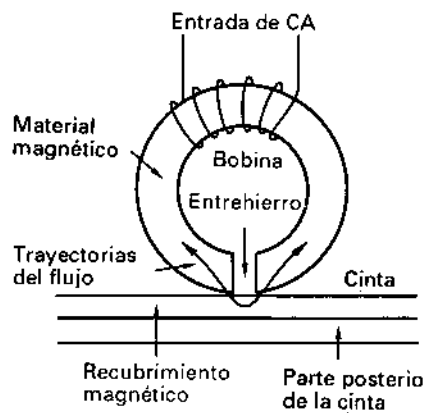
Las características de magnetización de la cinta no son en absoluto lineales. Por consiguiente, a la señal de audio a grabar se le añade, en la cabeza de grabación, una señal de alta frecuencia conocida como corriente de polarización, o *bias*. Se trata generalmente una señal senoidal de entre 100 y 200 kHz, que polariza a la cinta en la zona más lineal de su

FICHA TEMÁTICA 8.1 La cabeza de grabación magnética

Cuando una corriente eléctrica fluye por una bobina de hilo conductor se genera un campo magnético. Si la corriente fluye en un solo sentido (CC) el electroimán así formado tendrá un polo norte magnético en un extremo y un polo sur magnético en el otro (ver figura). La señal de audio a grabar sobre la cinta es una corriente alterna (AC), y cuando ésta atraviesa una bobina como la que hemos mencionado, el resultado es un campo magnético alterno, cuyo sentido varía de acuerdo con la amplitud y la fase de la señal de audio.



El flujo es el equivalente magnético a la corriente eléctrica, en el sentido de que fluye desde un polo del imán hacia el otro en forma de invisibles «líneas de fuerza». Para la grabación del sonido, lo que perseguimos es que la cinta quede magnetizada con un patrón de flujo que represente a la señal audio. Una cabeza de grabación es básicamente un electroimán con un pequeño entrehierro o ranura en él. La cinta pasa sobre el entrehierro, tal como muestra la figura. La señal eléctrica de audio se aplica a la bobina y se crea un campo magnético alterno a través del entrehierro. Dado que éste está relleno con un material no magnético, presenta una alta «resistencia» al flujo magnético, denominada reluctancia. Pero como la cinta supone un camino de baja «resistencia» para el flujo, en comparación con el entrehierro, las líneas de fuerza se cierran a través de la cinta dejándola así magnetizada.



En reproducción, la cinta magnetizada pasa por delante del entrehierro de una cabeza similar, o incluso idéntica, a la que se usó en grabación. Pero en esta ocasión es el flujo magnético sobre la cinta el que circulará a través de la cabeza, *induciendo* una corriente en la bobina que será la causante de la tensión eléctrica de salida.

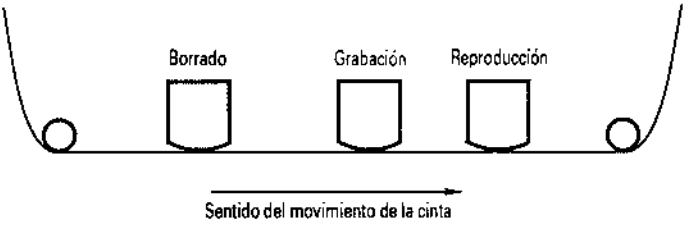


Figura 8.2 Orden de las cabezas en un grabador analógico profesional.

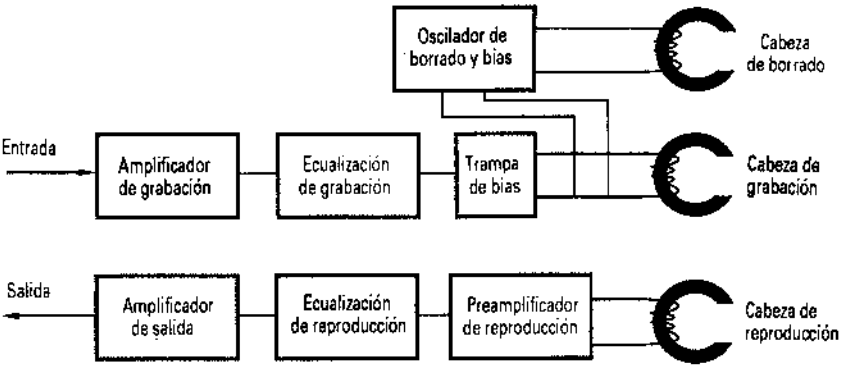


Figura 8.3 Diagrama de bloques simplificado de un grabador analógico típico. La trampa de bias es un filtro que evita que la señal de AF de polarización retroceda hacia etapas anteriores.

curva de respuesta. Sin esta corriente de polarización, la cinta retendría muy poca magnetización y la distorsión sería excesiva. La señal de bias es de una frecuencia demasiado elevada para poder quedar grabada en la cinta, de manera que no aparecerá en la salida durante la reproducción. Los diferentes tipos de cinta requieren también distintos niveles de bias para alcanzar las condiciones óptimas de grabación. Este punto será tratado con más detalle en la sección 8.2.3.

8.2.2 Ecualización

Antes de grabarla, a la señal de audio se le realiza una «pre-ecualización». Esta se hace de forma que el flujo reproducido en cortocircuito, en una cabeza ideal, siga una curva estándar de respuesta en frecuencia (ver figura 8.4). Existen varios modelos de curvas estándar para las diferentes velocidades de cinta, cuyas constantes de tiempo son las mismas que se utilizan en la ecualización de reproducción. Están recogidas en la tabla 8.1. Aunque el *nivel de flujo* reproducido debe ajustarse a estas curvas, la pre-ecualización eléctrica puede ser muy diferente, ya que esto depende de las características individuales de la cabeza y de la cinta. La ecualización en reproducción (ver figura 8.5) se utiliza para asegurar una respuesta plana a la salida del magnetófono. Esta ecualización trata de compensar una serie de efectos que tienen lugar durante todo el tratamiento, como son: las pérdidas producidas en el proceso de grabación/reproducción, la respuesta creciente con la frecuencia de la cabeza de reproducción, la característica del flujo grabado, así como la caída en la respuesta en AF cuando la longitud de onda a grabar se aproxima a la dimensión del ancho del entrehierro (ver Ficha Temática 8.2). La tabla 8.1 muestra las frecuencias de transición de los ecualizadores de lectura para varias velocidades de cinta. De nuevo existen varias curvas normalizadas. La constante de

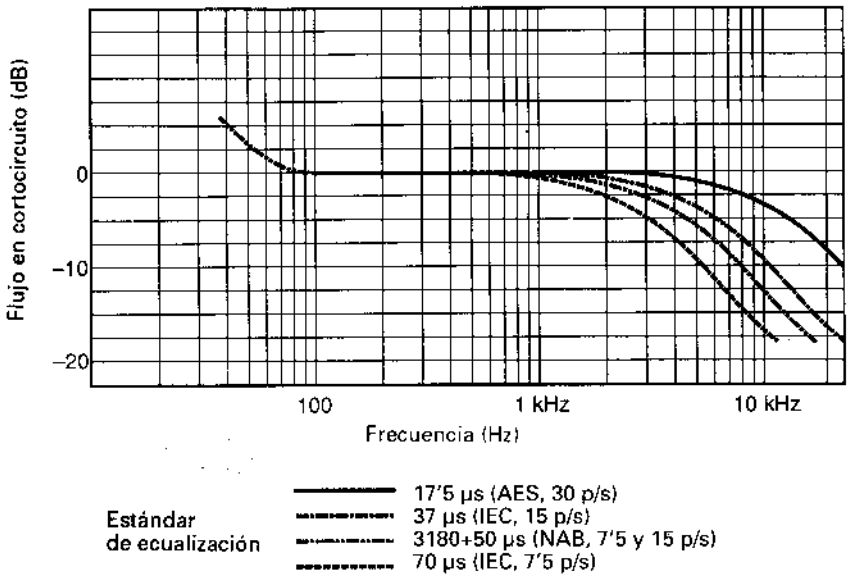


Figura 8.4 Ejemplos de características de grabación estandarizadas para flujos en cortocircuito. (Nota: Esta no es equivalente a la ecualización eléctrica necesaria en la cadena de grabación, sino que representa el nivel de flujo magnético resultante al reproducir la cinta, medido con una cabeza ideal).

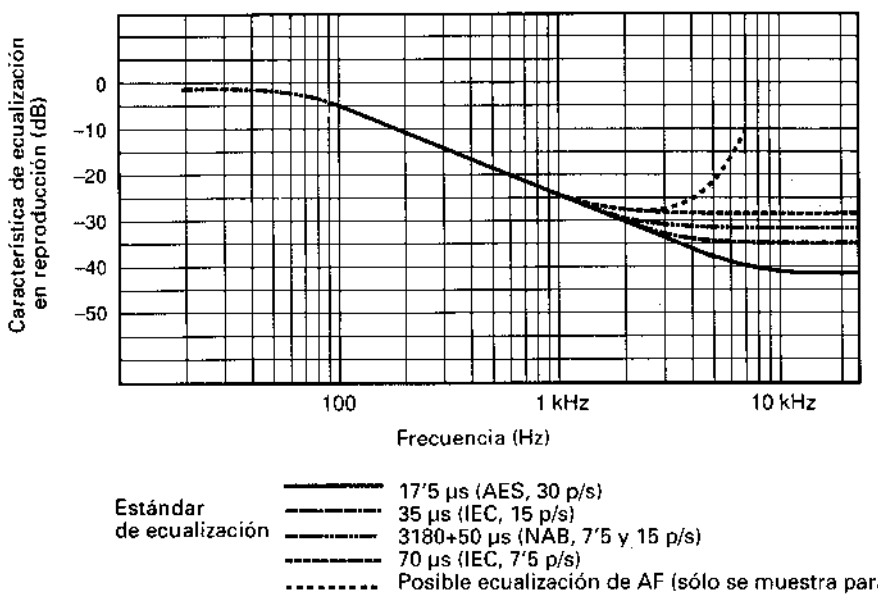


Figura 8.5 Ejemplos de ecualización que se aplican en reproducción para corregir la característica de grabación (ver figura 8.4), las pérdidas de la cabeza de reproducción y la salida creciente con la frecuencia de la cabeza de lectura.

tiempo (normalmente cifrada en microsegundos) es el producto de la resistencia por la capacidad (*RC*) en el filtro de ecualización equivalente. La frecuencia de corte que corresponde a una constante de tiempo determinada puede calcularse con la expresión:

$$f = 1/(2\pi RC)$$

Tabla 8.1 Constantes de tiempo para la ecualización de reproducción.

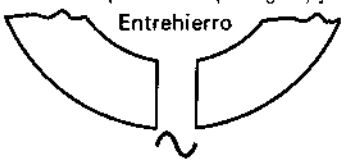
Velocidad de la cinta cm/s *(p/s)*	*Estándar*	*Constantes de tiempo(μs)*	
		AF	*BF*
76 (30)	AES/IEC	17'5	—
38 (15)	IEC/CCIR	35	—
38 (15)	NAB	50	3180
19 (7'5)	IEC/CCIR	70	—
19 (7'5)	NAB	50	3180
9'5 (3'75)	A11	90	3180
4'75 (1'875)	DIN (Tipo I)	120	3180
4'75 (1'875)	DIN (Tipo II ó IV)	70	3180

FICHA TEMÁTICA **8.2**

Respuesta de la cabeza de reproducción

El nivel de salida de la bobina en la cabeza de lectura es proporcional a la *velocidad en el cambio de flujo*, de manera que sufre un incremento de 6 dB cada vez que la frecuencia crece en una octava (suponiendo un flujo de grabación constante). La ecualización en reproducción corrige esta pendiente.

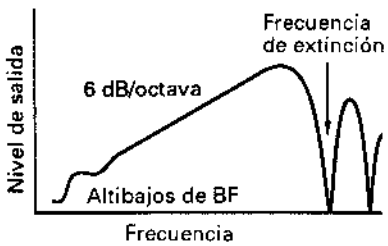
En alta frecuencia la longitud de onda grabada en la cinta es muy pequeña (en otras palabras, hay muy poca distancia entre puntos en los que se produce inversión de flujo). Cuanto mayor sea la velocidad de la cinta, mayor será la longitud de onda grabada. Para un determinado valor de alta frecuencia la longitud de onda grabada igualará a la anchura del entrehierro de la cabeza de reproducción (ver figura) y el flujo



neto en la cabeza será nulo, por lo que no se inducirá corriente alguna.

El resultado de todo esto es que habrá una frecuencia de corte superior en reproducción (frecuencia de extinción), que se diseña de forma que sea lo más alta posible. Los efectos del entrehierro se pueden notar también por debajo de la frecuencia de corte, manifestándose en forma de una caída gradual de la respuesta en frecuencia, según se va aproximando la longitud de onda a la longitud del entrehierro. Evidentemente, a bajas velocidades de la cinta (en cuyo caso la longitud de onda grabada será más corta) la frecuencia de corte será menor que a velocidades altas, para una longitud de entrehierro dada.

Para frecuencias bajas, la longitud de onda grabada se aproxima a las dimensiones de la longitud de cinta que está en contacto con la cabeza. En este caso tienen lugar procesos de sumas y cancelaciones cuando no todo el flujo de la cinta pasa a través de la cabeza, o cuando el flujo encuentra un cortocircuito a través de ella. Por todo esto, aparecen una serie de altibajos en la parte inferior de la curva de respuesta en frecuencia. La siguiente figura recoge todos estos efectos en la curva de respuesta de la cabeza de reproducción.



La constante de tiempo de 3180 µs (baja frecuencia) fue propuesta en el estándar americano NAB para reducir el zumbido de fondo de los primeros magnetófonos, y ha perdurado hasta hoy. Las constantes de tiempo de AF tienden a provocar un aumento del ruido en reproducción, ya que durante este proceso se refuerza una banda bastante ancha de agudos, lo que trae consigo una amplificación considerable del ruido de la cinta. Es por esto, principalmente, por lo que las cintas de casete del Tipo I (ecualización de 120 µs) son más ruidosas que las del Tipo II (ecualización de 70 µs). La mayoría de los magnetófonos profesionales tienen la posibilidad de seleccionar el estándar de ecualización, lo que permite reproducir cintas grabadas tanto con la norma IEC/CCIR como con la curva NAB. En la gran mayoría de los equipos el tipo de ecualización cambia automáticamente cuando se varía la velocidad de la cinta.

Muchos otros equipos disponen, además, de ajustes de ecualización en alta y baja frecuencia, de manera que su respuesta puede ser optimizada para distintas condiciones de funcionamiento, distintos niveles de bias y diferentes tipos de cinta.

8.2.3 Requisitos de polarización

Un alto nivel de bias, es decir, una gran amplitud de la corriente de polarización, permite que la señal de audio quede grabada más profundamente en la capa de óxido que lo que resultaría de hacerlo con unos niveles de bias más bajos. Las cintas de alta coercitividad necesitan mayores niveles de polarización que las de baja coercitividad para quedar magnetizadas adecuadamente. Tales cintas, sin embargo, sufren en menor medida el denominado «efecto copia» (ver más adelante). El correcto ajuste del nivel de polarización es vital de cara a obtener una óptima respuesta de una cinta analógica y, de hecho, en sistemas profesionales el ajuste de bias es parte del día a día en el mantenimiento del equipo (ver sección 8.7).

Los requisitos de polarización varían de un tipo de cinta a otro, tal como se ha dicho anteriormente. Las cintas de casete están agrupadas en cuatro «tipos» de calidad: Tipo I (férricas), Tipo II («cromo» o CrO_2), Tipo III (ferro-cromo) y Tipo IV (metal). El compuesto del que esté hecha la cinta estará siempre cerca de alguno de los grupos mencionados, en cuanto a las necesidades de nivel de bias, de forma que podamos obtener buenos resultados sobre un mismo equipo cuando se usen cintas de distinta procedencia. Esto es importante, ya que las variaciones en el nivel de bias producirán cambios significativos en la grabación de las altas frecuencias. El usuario de equipos domésticos no puede alcanzar esta optimización en sus grabaciones para un tipo concreto de cinta, mientras que en los equipos profesionales de bobina abierta este ajuste se hace de forma rutinaria. Sin embargo, algunos equipos domésticos, sí ofrecen la posibilidad de un ajuste fino de bias, tanto de forma automática como manual. Normalmente se acepta que un determinado magnetófono a casete funcionará mejor con un tipo de cinta que con otro, dependiendo de cómo el fabricante o el distribuidor haya ajustado el aparato. Merece la pena experimentar con diferentes tipos de cinta para encontrar aquella que de un mejor resultado sobre ese aparato determinado.

8.2.4 Efecto copia

El «efecto copia» tiene lugar en los carretes de cinta grabados, cuando se almacenan en condiciones poco apropiadas. Se produce cuando una determinada zona de una cinta grabada induce su magnetismo en las capas adyacentes. El efecto es parecido al de un alfiler que ha estado en contacto con un imán durante mucho tiempo, de forma que se vuelve también magnético. El efecto copia se manifiesta en un pre-eco y/o un post-eco, en función de cómo haya quedado colocada la cinta al sacarla del magnetófono. Esto significa que cuando se está reproduciendo la cinta podremos oír en primer lugar una señal de bajo nivel, que es copia de la principal; a continuación se oiría la señal original a nivel más alto, y un instante después llegaría una nueva señal de nivel bajo, que es la repetición de la última parte del pasaje princi-

pal. Este post-eco puede quedar enmascarado en muchos casos por la reverberación de la señal principal; en caso de que no haya reverberación puede eliminarse colocando una cinta inerte inmediatamente después de que haya terminado el programa original grabado.

El efecto copia puede reducirse si las cintas *master* se almacenan «de cola», o sea, dejando la última parte grabada en la zona más externa del carrete. Este es un procedimiento que se realiza habitualmente, y se identifica dejando un trozo de cinta inerte roja al final de la cinta grabada. En este caso se reduce en gran medida el pre-eco (el efecto más molesto de los dos) ya que ahora es una sección sin sonido la que queda situada adyacente al pasaje anterior, en lugar de estar adyacente al comienzo del pasaje siguiente. Además de por la razón que se acaba de exponer, conviene almacenar «de cola» las cintas *master* puesto que los magnetófonos dejan siempre un bobinado más uniforme en reproducción que en avance o rebobinado rápidos. Por tanto, lo que se hace es almacenar la cinta justo después de que ha sido grabada (o reproducida), o sea, sin rebobinarla. De esta forma las condiciones de almacenamiento serán sensiblemente mejores. El post-eco es preferible al pre-eco, ya que resulta más natural oír un débil eco de lo que se acaba de escuchar que oír por adelantado parte de lo que se oirá a continuación. Como ya hemos comentado, la reverberación puede ayudar a enmascarar el post-eco.

La reducción de ruido (ver Capítulo 9) ayuda a eliminar las consecuencias del efecto copia, ya que el proceso expansión que tiene lugar durante la reproducción rebaja aún más las señales de bajo nivel. Como estas señales de pre o post-eco se producen entre el proceso de codificación y el de descodificación, quedan reducidas en nivel, como si se tratara de cualquier otro ruido.

8.3 El magnetófono

8.3.1 Magnetófono de estudio

Los grabadores profesionales en bobina abierta se dividen en dos categorías: los montados sobre consolas, de uso estacionario, y los portátiles. El grabador estéreo de consola está pensado para su instalación permanente o semipermanente en un estudio de grabación, en unidades móviles o en cualquier otra aplicación de tipo general. Hace gala, aparentemente, de pocas prestaciones, aunque sí dispone de entradas y salidas balanceadas a nivel de línea (no tiene entradas directas de micrófono), los controles de transporte normales, algún que otro modo de edición, un conector para auriculares, un contador (normalmente en tiempo real, en lugar de contar revoluciones o simplemente números), selector de velocidad de arrastre, selector de tamaño del carrete y probablemente (no siempre) una pareja de medidores de nivel para los canales estéreo. Es deliberadamente sencillo, ya que su trabajo consiste en aceptar una señal, almacenarla tan fielmente como sea posible y reproducirla. Además, es de construcción robusta, debe permanecer estable durante largos períodos de tiempo, sin necesidad de ajustes frecuentes y se espera de él que funcione correctamente durante mucho tiempo. Un ejemplo típico de estos equipos se muestra en la figura 8.6.

Las entradas de un equipo como este deben ser capaces de aceptar niveles altos de tensión -de hasta +20 dBu, unos 8 voltios– de manera que la posibilidad de sobrecarga eléctrica a la entrada sea mínima. La impedancia de entrada será como mínimo 10 kΩ. Las salidas deben ser capaces de soportar impedancias menores de 600 Ω, estando la nominal por debajo de los 100 Ω. Debe ir provisto de los conectores necesarios para permitir un control remoto, de forma que el transporte pueda controlarse desde una mesa de mezclas, por ejemplo. Incluso el contador de cinta en tiempo real puede visualizarse en un *display* remoto; con estas condiciones el equipo en sí puede realmente ignorarse durante una sesión de grabación. El sistema de reducción de ruido puede ir instalado dentro del mismo mueble que el magnetófono. La conmutación en este caso se hará de forma automática, activando la función del codificador

Figura 8.6 Ejemplo de magnetófono analógico profesional de dos pistas en carrete abierto: el modelo A807-TC, de Studer. (Cortesía de FWO Bauch Ltd.)

cada vez que se pulse la tecla de grabación. Los controles de nivel de entrada y salida, de corriente de polarización y de ecualización también están presentes en el grabador, si bien suelen estar sujetos a alguna protección para evitar desajustes de forma accidental. Es frecuente, por ejemplo, que este tipo de ajustes deban hacerse mediante destornilladores a través de pequeños orificios destinados a tal fin.

Muchos magnetófonos disponen de sistemas de seguridad para cada pista, que evitan posibles errores de operación en grabación (interruptores «safe» y «ready»: grabación «segura» y «preparado» para grabar). Es posible también elegir entre reproducción síncrona o normal si se trata de un grabador multipista (ver más adelante). La velocidad de reproducción se puede variar a veces, permitiendo un ajuste fino tanto hacia arriba como hacia abajo de la velocidad estándar. Finalmente, muchos magnetófonos profesionales admiten trabajar en sincronismo con una referencia externa de velocidad.

8.3.2 El grabador semiprofesional

El pariente semiprofesional del tipo de magnetófono que acabamos de mencionar será capaz, en el mejor de los casos, de ofrecer unas prestaciones ligeramente inferiores que los equipos profesionales, y además de ser más pequeños y ligeros, tendrán algunas posibilidades extras tales como entradas de micrófono, así como distintas opciones de entradas y salidas. Disponen de conectores de auriculares y de medidores de nivel de grabación; permiten elegir entre monitorar la cinta o la fuente de señal de audio, y el nivel de salida puede ser variable. Un ejemplo típico de estos equipos se muestra en la fotografía de la figura 8.7. El grabador semiprofesional normalmente no estará construido de manera tan robusta como el profesional,

Figura 8.7 Un grabador semiprofesional de dos pistas: el Revox PR99. (Cortesía de Revox UK Ltd.)

siendo esta característica de especial interés en equipos que deban trasladarse de un sitio para otro. Un trato brusco puede causar fácilmente desviaciones del chasis que provocarían desajustes en el sistema de transporte de cinta, a menudo imposibles de corregir. Algunos chasis se construyen a base de acero prensado que no es muy rígido; uno de fundición es mucho mejor.

Los conectores de entrada/salida en un grabador semiprofesional serán, por lo general, del tipo doméstico –conectores RCA o «jack» desbalanceados– y los niveles de tensión en ellos pueden estar alrededor de los –10 dBV en lugar de los +4 dBu de los equipos profesionales. Las guías de cinta pueden perfectamente no incluir los rodillos y rodamientos que tienen los grabadores profesionales. Probablemente también carecerán de la posibilidad de interconexión con sistemas de reducción de ruido. Estos aparatos son considerablemente más económicos que sus equivalentes totalmente profesionales, si bien algunos de ellos pueden llegar a excelentes cotas de calidad y fiabilidad.

8.3.3 El grabador portátil

El grabador portátil profesional, al contrario de lo que ocurre con su equivalente estacionario, debe ofrecer un amplio abanico de posibilidades. Se le exigirá incorporar funciones tales como: entradas y salidas balanceadas, ambas con niveles de línea y de micrófono; alimentación fantasma y del tipo A-B para micrófonos de condensador; medidores; funcionamiento a baterías que permita largos tiempos de grabación; posibilidad de grabar códigos de tiempo y tono piloto para su uso en TV y cine; iluminación de los controles más importantes así como de los medidores, e incluso la posibilidad de poder realizar mezclas sencillas. Debe ser robusto, de cara a su uso en el campo profesional, y lo bastante pequeño como para trasladarlo fácilmente. Aún siendo de pequeño tamaño, también deberían aceptar carretes de cinta profesio-

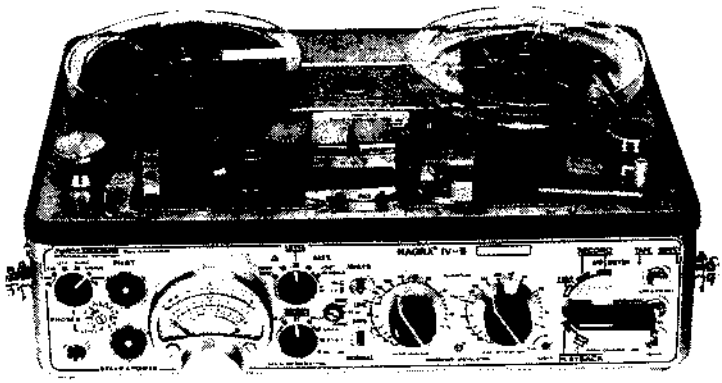


Figura 8.8 Un típico grabador portátil profesional de dos pistas: el Nagra IV-S. (Cortesía de Hayden Laboratories Ltd.).

nales de 25 cm (10 pulgadas) de diámetro; para ello existen adaptadores especiales. Su pequeño tamaño implica, normalmente, un precio elevado, pues la miniaturización necesaria para esta tecnología no es en absoluto barata. El funcionamiento de estos aparatos no tiene nada que envidiar al de un grabador de estudio.

Un ejemplo comercial típico se muestra en la fotografía de la figura 8.8.

8.3.4 El magnetófono multipista

Existen grabadores multipista en una gran variedad de configuraciones de pistas y niveles de calidad. Los modelos profesionales están diseñados para ser consistentes y fiables, como ocurre con los magnetófonos estéreo de alta calidad. El sistema de arrastre necesita ser especialmente cuidado, ya que la grabación se realiza a través de varias pistas que necesitan una perfecta sincronización. Una bobina de cinta de 2 pulgadas es bastante pesada, por lo que son necesarios potentes motores de bobinado y buenos frenos para mantenerla siempre bajo control. Aparte del gran número de pistas, este tipo de magnetófonos son básicamente iguales a sus parientes en dos pistas estéreo. Los fabricantes suelen ofrecer distintas configuraciones de pistas dentro de cada modelo de aparato. El ajuste del equipo en este caso es mucho más laborioso y largo, hasta el punto de ser necesario en muchos casos un control por ordenador, sobre todo si tenemos en cuenta que 24 pistas implican ¡168 ajustes diferentes! En la figura 8.9 se representa un modelo de magnetófono de 24 pistas.

Una característica muy interesante en un multipista es que incorpore una función automática de repetición, o posicionador automático «autolocate». El contador en tiempo real puede programarse de forma que el equipo repita una sección de la cinta una y otra vez entre dos puntos prefijados de inicio y final; esto facilita las pruebas o ensayos durante la mezcla. Los multipistas estarán equipados, además, con una serie de características únicas que son vitales durante una sesión de grabación. Por ejemplo: la reproducción síncrona (ver Ficha Temática 8.3), la ausencia de «gaps» o fallos esporádicos de sonido, inserciones libres de ruidos (lo que permite que cualquier pista entre en grabación en cualquier momento sin que se produzcan pérdidas de señal o haya algún «clic» en la conmutación) y la posibilidad de borrado puntual (permitiendo borrar manualmente cualquier porción de pista en un punto cualquiera de la cinta).

FICHA TEMÁTICA 8.3

Reproducción síncrona

El proceso de «overdubbing», o grabación pista a pista, ampliamente utilizado en grabación multipista, requiere que los músicos puedan escuchar las pistas ya grabadas en la cinta mientras se graban otras, que serán en las que quede registrado el sonido de sus instrumentos. Si la reproducción viniese de la cabeza de lectura y el nuevo registro lo hiciera la correspondiente cabeza de grabación, se produciría un retardo entre el material previamente grabado y el actual; este retardo iría en función de la distancia entre las cabezas. La reproducción síncrona permite que la cabeza de grabación se utilice como cabeza de lectura para las pistas que no están siendo grabadas, de tal modo que se mantenga la sincronización de unas y otras. La calidad de sonido que sale de la cabeza de grabación (llamada cabeza síncrona en este modo de funcionamiento) nunca será tan buena como la que se obtiene de la cabeza reproductora, ya que el entrehierro en la primera es más ancho; sin embargo, es suficiente para el monitorado en el interior del estudio. A veces se dispone de un ecualizador independiente, cuya función es mejorar la respuesta en el modo de reproducción síncrona. Los procesos de mezcla a partir de las señales grabadas en multipista se hacen normalmente con ayuda de la cabeza de reproducción.

Algunos fabricantes han optimizado la tecnología de la cabezas, de modo que las de grabación y reproducción sean exactamente iguales y por lo tanto no exista diferencia alguna entre la reproducción normal y la síncrona.

En los últimos años han aparecido varios multipistas semiprofesionales que hacen uso de anchos de pista menores, buscando incorporar arrastres más económicos y un menor consumo de cinta a expensas de la calidad. La cinta de cuarto de pulgada se ha usado para cuatro, ocho e incluso dieciséis pistas; la de una pulgada también ha sido utilizada para ocho y dieciséis pistas. Algunos modelos incorporan sistemas reductores de ruido del tipo doméstico

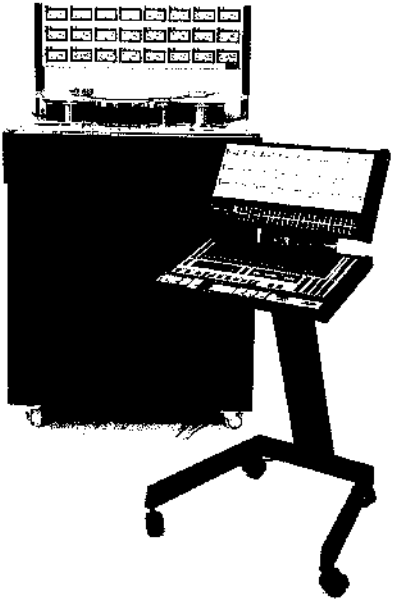


Figura 8.9 Un grabador multipista profesional típico: el Saturn 824. (Cortesía de Saturn Research)

como el Dolby C, y un equipo actual utiliza, incluso, el sistema Dolby S, derivado del SR profesional (ver sección 9.2.5).

Los multipistas más económicos llevan conexiones de entrada/salida orientadas hacia un uso doméstico, y son del tipo desbalanceado. No suelen tener las amplias posibilidades de ajuste que incorporan equipos más profesionales. Los errores de fase o retardos entre pistas pueden ser bastante grandes y el sistema de arrastre no será siempre de primera calidad. Finalmente, la diafonía entre pistas puede llegar a ser importante en algunos casos. Estos multipistas «de segunda línea» son, a menudo, menos duraderos que sus parientes profesionales, y sus ajustes pueden mantenerse estables también durante menos tiempo.

8.4 Formatos de pista

8.4.1 Formatos mono, dos pistas y estéreo

El formato estéreo profesional se conoce como formato «media pista», ya que cada pista ocupa aproximadamente la mitad del ancho de la cinta. Los grabadores en pista mono graban la señal sobre todo el ancho de cinta (ver figura 8.10). Los magnetófonos domésticos de dos pistas en bobina abierta utilizaban el formato de «cuarto de pista», que divide el ancho total de la cinta en cuatro partes iguales: los canales izquierdo y derecho se grababan en el primer (superior) y tercer cuarto del ancho de la cinta, respectivamente; dando la vuelta a la bobina se puede grabar material nuevo en los dos cuartos restantes. El tiempo de grabación será, por tanto, doble. La «otra cara» de la cinta, como se le suele denominar, es en realidad la misma cara pero usando una parte diferente del área de la cinta. Los inconvenientes de reducir los anchos de pista están en que tendremos mayor distorsión y una peor relación señal/ruido. Puede aumentar la probabilidad de que se produzcan «drop-outs» (pérdidas momentáneas de señal) debido a que el contacto cabeza-cinta se hace más crítico, además del hecho de que si cortamos la cinta para editar un determinado programa, estamos cortando también el material grabado en la otra cara. Muchos equipos semiprofesionales son de cuarto de pista. Algunos estudios disponen de este tipo de aparatos para el caso de tener que reproducir alguna cinta de este formato. Determinados modelos de grabadores de media pista tienen una segunda cabeza de reproducción en formato de cuarto de pista.

Existen dos formatos profesionales de dos pistas, el NAB y el DIN, tal como se describe en la Ficha Temática 8.4.

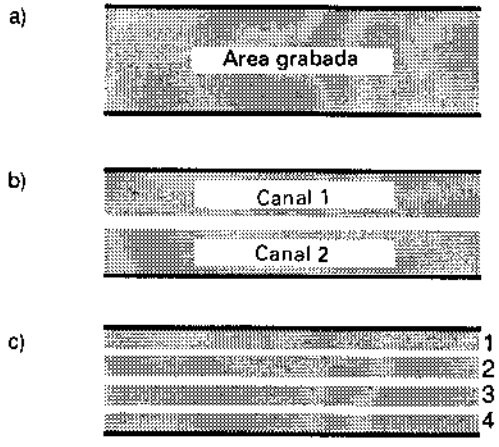


Figura 8.10 Formatos de cinta de cuarto de pulgada. (a) Mono, pista completa. (b) Estéreo, media pista. (c) Cuatro pistas, o cuarto de pista en estéreo (las pistas 1 y 3 se graban en un sentido y las pistas 2 y 4 en el otro).

FICHA TEMÁTICA 8.4 Formatos NAB y DIN

Es muy importante distinguir entre los aparatos «estéreo» y los de «dos pistas». Con este último se puede grabar en ambas pistas en tiempos diferentes si es necesario. También son posibles grabaciones síncronas si la cabeza de grabación puede ser conmutada a la función de lectura. Esto permite monitorar una grabación previa en la pista 1, por ejemplo, mientras se está grabando la pista 2.

Puesto que algunas veces es necesario grabar por separado dos sonidos absolutamente diferentes sobre las dos pistas, la diafonía entre ambas debe permanecer en valores mínimos. Por lo tanto, la banda que queda sin grabar entre ambas pistas debe ser más ancha que en el caso de un formato estéreo; lo mismo ocurre para las bandas de guarda en la cabeza de grabación. El formato de banda de guarda ancha se denomina formato NAB (el cual no necesariamente tiene que ver con la ecualización NAB). El formato estéreo con banda de guarda estrecha es el conocido como formato DIN.

Esto tiene algunas consecuencias respecto a la compatibilidad entre ambos tipos de equipos. Una grabación realizada por un grabador DIN ocupará más banda de guarda que en caso de que hubiera sido hecha por uno NAB. Si queremos borrar una grabación estéreo (DIN) con un equipo de dos pistas (NAB), la cabeza de borrado de este último no hará desaparecer por completo la señal grabada y, si reproducimos la cinta, se podrán oír los restos de esta señal. La cabeza de borrado de un sistema estéreo ocupa (y borra) completamente todo el ancho de la cinta. Asimismo, si una cinta NAB se reproduce con cabezas DIN habrá un pequeño incremento del ruido, de 1 a 2 dB.

8.4.2 Formatos multipista

El estándar de ancho de cinta profesional tiende a mantener una relación directa con el formato de dos pistas en cuarto de pulgada que se utiliza para «mastering». Por lo tanto, un equipo de cuatro pistas usará cintas de media pulgada de ancho. Uno de ocho pistas utiliza cintas de una pulgada. Dieciséis pistas necesitarán cintas de dos pulgadas, y 24 pistas también se acomodarán en estas dos pulgadas. Por consiguiente, los niveles de calidad de grabación en todas las pistas y en cualquier formato son los mismos, sin que haya degradación en la señal reproducida si nos movemos, por ejemplo, de la cuarta a la octava pista. Normalmente, las pistas se numeran en orden creciente desde 1, a partir del borde superior de la cinta y hasta la parte inferior de la misma.

8.5 Niveles de grabación magnética

Como ya se ha dicho, el equivalente en términos magnéticos a la corriente eléctrica es el flujo magnético, y es necesario entender la relación entre los niveles eléctricos y los niveles de grabación magnética sobre la cinta (se comentó algo de esto en la Ficha Temática 7.3). El funcionamiento de un magnetófono analógico depende en gran medida del nivel magnético grabado en la cinta, ya que a altos niveles se producirá distorsión y saturación, mientras que con bajos niveles tendremos ruido (ver figura 8.11). Existe un margen, entre el ruido y la distorsión, en el que debe grabarse la señal de audio, y debemos controlar el nivel de grabación de forma que permanezca entre esos límites. Por esta razón conviene establecer una relación entre el nivel eléctrico de entrada al grabador y el nivel de flujo sobre la cinta, de forma que el operador sepa qué nivel de flujo magnético corresponde a las indicaciones de los medidores en la mesa de mezclas. Una vez establecida esta relación, es posible olvidarse de los niveles de flujo magnético y concentrarse en los medidores. En la Ficha Temática 8.5 se plantea la discusión en cuanto a los niveles de flujo magnético de referencia.

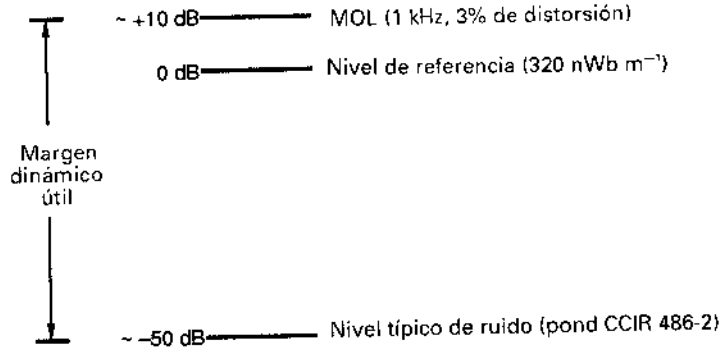


Figura 8.11 El margen dinámico útil en una cinta analógica se encuentra entre el nivel de ruido y el MOL («maximum output level», o nivel de salida máximo). Las cifras exactas dependen de la cinta y del magnetófono.

FICHA TEMÁTICA **8.5**

Niveles magnéticos de referencia

La densidad de flujo magnético se mide en nanowebers por metro (nWb m^{-1}), donde el Weber es la unidad de flujo magnético. Las cintas modernas tienen un gran número de especificaciones, siendo las más significativas el nivel de salida máximo (MOL), el punto de saturación de alta frecuencia y el nivel de ruido (estos parámetros son tratados también en el Apéndice 1). El MOL es el nivel de flujo en el cual la distorsión del tercer armónico alcanza el 3% del nivel del primer armónico o fundamental, medida a 1 kHz (ó 5% y 315 Hz en casetes); se puede considerar como el nivel de grabación de pico, a menos que se requiera una distorsión excesiva por alguna razón. El MOL para una cinta moderna de alta calidad está a un nivel magnético de alrededor de 1000 nWb m^{-1}, o incluso ligeramente mayor en algunos casos. Por tanto, lo más acertado es ajustar el grabador de forma que este flujo magnético corresponda muy aproximadamente a la indicación del nivel de pico en los medidores de la mesa de mezclas.

El nivel de referencia comúnmente utilizado en términos eléctricos es 0 dBu, que normalmente equivaldrá a PPM 4 (4 en el picómetro), ó –4 VU en un medidor de la mesa de mezclas. Este nivel se debe ajustar con el correspondiente nivel *magnético* de referencia sobre la cinta, es decir, los 320 nWb m^{-1}. El nivel de grabación de pico, en este caso, estará normalmente alrededor de +8 dBu, suponiendo que la indicación máxima permitida en el picómetro es 6, según la norma. Este nivel se corresponde con un nivel magnético de 804 nWb m^{-1}, que está cerca del MOL de la cinta y que provocará un 2 % de distorsión, aproximadamente.

Hay varios niveles magnéticos de referencia comúnmente aceptados y en uso, siendo los principales los de 200, 250 y 320 nWb m^{-1}. Hay 4 dB de diferencia entre los 200 y los 320 nWb m^{-1}, y por tanto una cinta de pruebas de 320 nWb m^{-1} reproducirá a un nivel 4 dB por encima que la cinta de 200 nWb m^{-1}, como se podría comprobar con el medidor correspondiente. Las cintas de pruebas americanas frecuentemente usan los 200 nWb m^{-1} (también llamado nivel NAB), mientras que las cintas alemanas suelen usar los 250 nWb m^{-1} (nivel DIN). En el resto de Europa se tiende al uso del nivel de 320 nWb m^{-1} (llamado también nivel IEC). Las cintas de prueba se tratan también en el texto principal.

La mayoría de los estudios de grabación están de acuerdo en que se está infrautilizando la capacidad de grabación de las cintas analógicas, ya que las características de las cintas modernas son lo bastante buenas como para permitir niveles de grabación mayores que los de antes. Un estudio en el que los niveles se ajusten a 0 dBu (4 en el picómetro), lo que a su vez correspondería a un nivel en la cinta de tan solo 200 nWb m^{-1}, posiblemente estaría dejando de 4 a 6 dB de margen dinámico sin usar, sacrificando una relación señal/ruido muy valiosa.

8.6 ¿Para qué sirven las cintas de prueba?

Una cinta de prueba «test tape» es una grabación de referencias estandarizadas que contiene tonos pregrabados a un nivel de flujo magnético determinado. La cinta de prueba es el único punto de partida para el ajuste de un magnetófono, ya que de otro modo no habría forma de conocer qué nivel magnético quedará finalmente en la cinta durante la grabación. El procedimiento de ajuste debe empezar por reproducir esta cinta. Un tono de 1 kHz a un nivel de flujo magnético determinado (por ejemplo 320 nWb m^{-1}) producirá un determinado nivel eléctrico a la salida del equipo. Ajustaremos ese nivel de salida al nivel eléctrico prefijado según la norma del estudio (0 dBu, por ejemplo), de manera que se puedan tener lecturas estandarizadas en los medidores (por ejemplo PPM 4, o sea, una medida de 4 en el picómetro). De esta forma tendremos la absoluta seguridad de que si el nivel de salida es 0 dBu, entonces el nivel magnético sobre la cinta será de 320 nWb m^{-1}. Una vez establecida esta relación, ya será posible *grabar* señales en la cinta a un nivel magnético conocido. Por ejemplo: podríamos poner a la entrada del equipo un tono de 1 kHz a 0 dBu y ajustaríamos el nivel de *entrada* hasta que en la salida se pudieran leer también esos 0 dBu. En ese momento el tono de 1 kHz se estaría grabando con un nivel de flujo de 320 nWb m^{-1}.

Las cintas de prueba también incluyen tonos a otras frecuencias, que pueden servir para el ajuste de acimut de las cabezas y para calibrar la respuesta en frecuencia en la ecualización de lectura (ver más adelante). Se utilizará para este propósito una cinta de prueba con los niveles magnéticos de referencia acordes con el estándar de ecualización necesario (NAB o CCIR, ver sección 8.2.2). Existen cintas de prueba para todas las velocidades de arrastre, estándares y anchos de cinta, con la particularidad de que estarán grabadas, en la mayor parte de los casos, a todo lo ancho de la cinta.

8.7 Ajuste del magnetófono

8.7.1 Revisión y desmagnetización de las cabezas

Tanto las cabezas como las guías de cinta deben ser revisadas periódicamente para comprobar su grado de desgaste. Se debe procurar que sus superficies estén completamente lisas en todo momento; a veces es suficiente con girar ligeramente las guías, de forma que entre en contacto con la cinta una parte limpia de las mismas. Cuando una cabeza o guía se desgasta más de la cuenta aparecen formas angulosas, que pueden dañar la cinta, pues deterioran su capa de óxido. Las cabezas se fabrican a partir de distintos materiales. Las de Mu-Metal tienen buenas propiedades electromagnéticas, pero son sensibles al desgaste. Las cabezas de ferrita tienen un desgaste muy lento y permiten diseñar entrehierros con tolerancias muy bajas. Los bordes del entrehierro pueden ser algunas veces bastante quebradizos y requieren un manejo sumamente cuidadoso. Las cabezas de Permalloy duran mucho tiempo y dan una buena respuesta general, por lo que resultan elegidas para muchas aplicaciones. El desgaste de la cabeza se hace patente por la presencia de un área plana en la superficie en contacto con la cinta. Un pequeño desgaste de la cabeza no obliga necesariamente a su sustitución, y si su funcionamiento es correcto al realizar ajustes con la cinta de prueba, no hay necesidad de tomar ninguna otra medida.

Por su parte, el desgaste de la cabeza de reproducción se nota por una exagerada buena respuesta en alta frecuencia, con lo que se hace necesario actuar sobre la ecualización para reducirla al nivel correcto en esa banda. Esto puede parecer extraño, pero se debe a que en muchos casos el entrehierro de reproducción está diseñado de forma que se va haciendo más estrecho a medida que la cabeza se va desgastando, y en su momento de máxima estrechez –justo antes de que llegue al cortocircuito eléctrico– se colapsa, o sea, se produce el cortocircuito magnético.

Las cabezas deben limpiarse regularmente con ayuda de un algodón empapado en alcohol, o bien con un *spray* de freón. También deben desmagnetizarse de forma periódica, ya que, debido a un uso intensivo, pueden adquirir una ligera magnetización permanente, especialmente en aparatos viejos. Esta magnetización producirá un aumento del ruido así como una particular modulación del ruido de fondo que resulta bastante molesta. El desmagnetizador es básicamente un fuerte electroimán de CA, capaz de corregir este defecto en las cabezas. No se debe encender estando próximo al equipo grabador y debe cuidarse que esté libre de cualquier otro metal o elemento magnético. Es capaz de borrar una cinta si se encuentra lo bastante cerca. Una vez conectado, se pasará muy despacio y con cuidado por el camino que sigue la cinta (sin que ésta esté puesta), a través de las guías y de las cabezas. Seguidamente se irá alejando lentamente del equipo, y sólo cuando esté lo suficientemente alejado podrá desconectarse.

8.7.2 Ajustes en reproducción

Los ajustes de reproducción deben llevarse a cabo antes que los de grabación, como se explicó anteriormente. El método para calibrar los niveles de reproducción y grabación ha sido ya comentado en una sección anterior. El ajuste del acimut mediante tonos de alta frecuencia se explica en la Ficha Temática 8.6. La cinta de prueba tiene normalmente una secuencia de tonos puros para el ajuste de la respuesta en frecuencia en reproducción. El nivel de estos tonos suele estar entre 10 ó 12 dB por debajo del nivel de referencia, de forma que se evite la saturación de la cinta en los extremos de la banda. La secuencia suele comenzar con una referencia de 1 kHz, seguido de, por ejemplo, 31'5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz y 16 kHz. Para cada uno de ellos tendremos una identificación hablada. A medida que avanza la cinta, se ajustará la ecualización de reproducción de modo que muestre la respuesta en frecuencia lo más plana posible. Por lo general, se dispone de ajustes en baja y alta frecuencia (algunas veces sólo en AF), pero normalmente sólo se calibra la alta frecuencia en reproducción, ya que la parte inferior de la banda puede sufrir los altibajos descritos en la Ficha Temática 8.2, y si coinciden un pico o un valle de la respuesta de la cabeza con alguna frecuencia de la cinta de prueba, tendríamos problemas de desajustes. Las cintas de prueba de pista completa pueden provocar que el flujo de la banda de guarda (que en este caso estará grabada) llegue a alcanzar a las pistas adyacentes; la señal que afecta a estas pistas será principalmente de BF (aunque pueda parecer extraño, la ecualización de baja frecuencia para reproducción se ajusta normalmente durante la grabación; así se obtendrá la respuesta de grabación/reproducción más plana posible).

8.7.3 Ajustes en grabación

La respuesta en frecuencia del magnetófono durante la grabación resulta afectada por el ajuste de bias que se haya realizado; por lo tanto, este ajuste debe hacerse con anterioridad a la ecualización de grabación. La calibración de bias y sus efectos están descritos en la Ficha Temática 8.7. Lo más correcto es conseguir un nivel de entrada óptimo antes del ajuste de bias, enviando para ello al magnetófono un tono de 1 kHz a un nivel de referencia y ajustando la ganancia de entrada hasta que en reproducción alcancemos el mismo nivel.

Una vez ajustado el nivel de bias, podremos calibrar el acimut de grabación si es necesario (ver Ficha Temática 8.6), grabando un tono de alta frecuencia y monitorando el nivel de salida de reproducción que ahora estará correctamente ajustado. También hay que tener en cuenta que puede ser necesario a veces volver atrás en el proceso de ajuste, y comprobar el nivel grabado a 1 kHz si se han realizado cambios importantes en la corriente de polarización.

Ahora podremos ajustar la ecualización de grabación. Normalmente, en grabación sólo es posible un ajuste en AF. Se graba un tono de 1 kHz entre 10 y 20 dB por debajo del nivel de referencia y la ganancia del medidor se ajusta de forma que sea perfectamente visible en repro-

FICHA TEMÁTICA **8.6**

Ajuste del acimut

Acimut

El acimut define la orientación del entrehierro de la cabeza respecto a la cinta. El entrehierro debe estar perfectamente perpendicular a los bordes de la cinta, ya que de otro modo se provocarían dos efectos importantes. En primer lugar, las altas frecuencias ni se graban ni se reproducen correctamente, porque el entrehierro adquiere un ancho efectivo cada vez mayor a medida que la cabeza forma un ángulo más grande con respecto al borde de la cinta, tal como muestra la figura (B es mayor que A). En segundo lugar, se altera la fase relativa entre pistas (unas se grabarán o reproducirán antes que otras).

Se puede utilizar un tono de alta frecuencia de la cinta de prueba (8, 10 ó 16 kHz) en combinación con la salida conjunta de ambos canales, ajustando el acimut de la cabeza de reproducción hasta obtener un nivel máximo de salida que indicará que ambos canales están en fase. Un método alternativo sería introducir la salida de cada canal a sendas entradas de un osciloscopio de doble trazo, colocando una señal encima de otra sobre la pantalla, de forma que podamos ver fácilmente los errores de fase existentes. Se ajustará entonces el acimut para que ambas ondas senoidales estén perfectamente alineadas. Es preferible empezar con el tono de frecuencia menor (8 kHz) si hay que hacer un ajuste importante, ya que con frecuencias mayores existe el peligro de que tengamos desfases de 360°, o sus múltiplos, con mucha más facilidad.

En magnetófonos multipista es necesario un proceso de ensayo y error para encontrar un par de pistas que representen, entre todas las demás, el mejor ajuste de fase. Las tolerancias en la fabricación de cabezas provocan que los entrehierros no estén perfectamente alineados en todas las pistas. Los magnetófonos multipista baratos muestran mayores errores de fase entre pistas que los más caros.

El acimut de las cabezas de reproducción debe ajustarse con regularidad, especialmente cuando se reproduzcan cintas grabadas en otro equipo, que podría tener un acimut diferente. El acimut de la cabeza de grabación nunca se toca, a menos que haya razones para suponer que éste haya cambiado.

Altura

La altura absoluta de la cabeza debería ser tal que el centro del frontal de la cabeza se correspondiera con el centro de la cinta. Se puede ajustar la altura mediante una cinta de pruebas que *no* esté grabada en todo el ancho de la cinta sino en dos pistas discretas. La altura correcta nos dará iguales niveles de salida para ambas pistas y una diafonía mínima. También es posible comprar cintas que estén grabadas sólo en su banda de guarda, permitiendo al usuario ajustar la altura para que la señal leída por las cabezas sea mínima. A veces se puede realizar este ajuste visualmente.

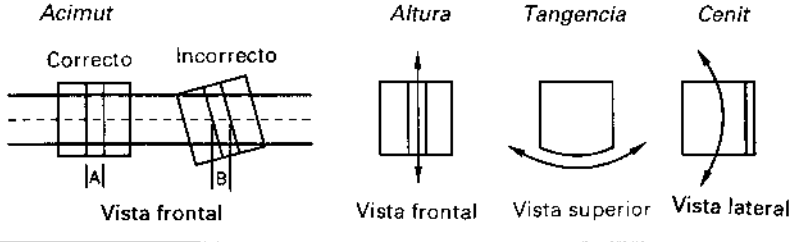
Cenit

El cenit es la orientación vertical de la cabeza respecto a la superficie de la cinta. La cabeza no debe estar nunca apoyada en un lado u otro (hacia delante o hacia atrás) de la cinta, ya que si esto ocurre, se producirá una presión desigual sobre la superficie de la cinta que causará un contacto irregular cabeza-cinta y un desgaste desigual de la cabeza.

Normalmente no se ajusta este parámetro, a menos que se cambie la cabeza o haya razones para creer que el cenit ha sido alterado.

Tangencia

La tangencia indica en qué grado el entrehierro está centrado en el área de la cinta que está en contacto con la cabeza. En entrehierro debe estar exactamente en el centro de esa porción de cinta, de forma que el grado de contacto a ambos lados del mismo sea exactamente igual. Si no es así, la respuesta en frecuencia será desigual. El ajuste de la tangencia puede hacerse pintando la superficie de la cabeza con una tinta deleble y haciendo pasar la cinta sobre ella. La cinta borrará la tinta en el área de contacto, y se podrá realizar el ajuste para que este área de contacto quede completamente centrada.

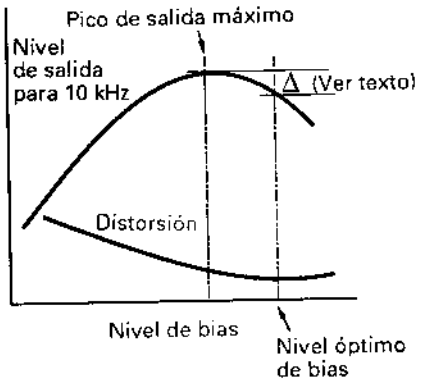


FICHA TEMÁTICA 8.7

Ajuste de bias

El nivel de corriente de polarización, o *bias*, afecta directamente al proceso de grabación, y la elección del nivel correcto es un compromiso entre nivel de salida, distorsión, nivel de ruido y otros factores. El siguiente gráfico muestra la curva típica de salida de la cinta en función del nivel de bias. Como vemos, el nivel de salida crece hasta un punto después del cual comienza a decaer.

El ruido y la distorsión disminuyen a medida que aumenta el bias pero, desgraciadamente, el punto mínimo en ruido y distorsión no coincide con el punto de máximo nivel de salida. Se acepta comúnmente que el compromiso óptimo entre todos los factores -ofreciendo el mejor margen dinámico– es aquel donde el nivel de bias se sitúa ligeramente por encima del punto para el cual se tiene un pico en el nivel de salida. Para ajustar el bias, se graba un tono de 10 kHz con un nivel 10 dB por debajo del nivel de referencia, al mismo tiempo que se va aumentando gradualmente el bias desde el mínimo. El nivel de salida del equipo crecerá de manera gradual hasta un máximo, a partir del cual empezará a caer si seguimos aumentado el nivel de bias. El nivel óptimo estará en un punto tal que se haya bajado algunos decibelios en el nivel de salida, después del pico; a este valor se le conoce como el nombre de «sobrepolarización», y se representa por la letra Δ en la figura.



Este punto óptimo de bias depende de la velocidad de arrastre de la cinta y de su composición, pero típicamente el valor de Δ puede ser de 3 dB, a una velocidad de 38 cm s^{-1} (15 p/s). A 19 cm s^{-1} (7'5 p/s) esta cifra se incrementa a 6 dB y a 76 cm s^{-1} (30 p/s) es sólo de 1'5 dB, aproximadamente. Si el ajuste se realiza a 1 kHz habrá mucha menos variación del nivel de salida con las variaciones del bias y sólo se necesitarán valores de Δ de 0'5 a 0'75 dB, para una velocidad de 38 cm s^{-1}. Estas diferencias de nivel tan pequeñas son muy difíciles de leer en la mayoría de los medidores.

ducción. A partir de aquí grabaremos tonos puntuales para comprobar la respuesta en frecuencia del equipo, normalmente sólo en los extremos de la banda. Se puede grabar un tono de 5 kHz seguido de otros de 10 kHz y 15 kHz, monitorando al mismo tiempo. La ecualización de alta frecuencia se ajusta de forma que se consiga la respuesta en frecuencia más plana posible. La ecualización de baja frecuencia en *reproducción* (ver más arriba) puede hacerse de manera similar, haciendo un barrido en frecuencia con el generador desde 40 Hz a 150 Hz, por ejemplo, y realizando el ajuste para tener el mejor compromiso entre los límites superior e inferior de los «altibajos» de la cabeza en estas frecuencias.

Algunos equipos incorporan un sistema informatizado con el que pueden realizarse automáticamente los ajustes necesarios para cualquier tipo de cinta. La cinta se carga con un comando determinado y la propia máquina hace mover la cinta, ajustando bias, niveles y ecualización, con arreglo a un programa previo. Todo esto puede realizarse en un tiempo de apenas unos segundos. En la memoria de este sistema microprocesador podemos tener varios ajustes diferentes en función de los tipos de cinta existentes, de forma que al cambiar de cinta sólo será necesario llamar al programa adecuado para su ejecución y se realizarán los ajustes según los valores previamente fijados. Esto es de especial utilidad cuando hay que calibrar equipos multipista.

Una vez tenemos perfectamente calibrado el equipo para grabar y reproducir, se deberán incluir una serie de tonos puros al principio de cada grabación que se haga en el aparato. Esto

permitirá que cuando se reproduzca la cinta sobre cualquier otro equipo se puedan hacer los ajustes necesarios para tener una respuesta en frecuencia plana en reproducción. El requerimiento mínimo será un tono puro de 1 kHz a nivel de referencia, seguido de tonos de alta y baja frecuencia (por ejemplo de 10 kHz y 63 Hz) también a nivel de referencia (si la cinta lo admite), o a –10 dB. Los niveles y frecuencias de estos tonos deben estar indicados en la caja de la cinta (por ejemplo: «Tonos @ 1 kHz, 320 nWb m^{-1} (= 0 dB); 10 kHz y 63 Hz @ –10 dB»). Anotaciones en la caja tales como «1 kHz @ 0 VU» no tienen prácticamente ningún significado, ya que 0 VU no es un nivel magnético. Lo que el operador ha querido decir en este caso es que ha mandado un tono desde su mesa al magnetófono, midiéndose 0 VU en el medidor; sin embargo, ello no indica en absoluto el nivel magnético que ha quedado grabado realmente sobre la cinta. También debe ir indicado en la caja de la cinta dónde se encuentra el máximo nivel de grabación en relación al nivel de referencia del tono de 1 kHz (por ejemplo: «Nivel máximo de grabación @ 8 dB por encima de 320 nWb m^{-1}»), de forma que la cadena de reproducción pueda ajustarse para aceptar estos picos sin problemas. En radiodifusión, por ejemplo, es de la máxima importancia conocer dónde estará el nivel de señal de pico, ya que éste debe ajustarse de forma que en el picómetro marque el valor 6, correspondiendo a la modulación máxima del transmisor.

Cuando esta cinta se reproduzca, el operador ajustará el nivel de reproducción y los controles de ecualización del equipo, así como el acimut de la cabeza de reproducción, con el fin de asegurar que el nivel magnético de referencia grabado se reproduce al nivel eléctrico de referencia de su estudio, garantizando así una respuesta plana. *Este es el único modo de asegurar que una cinta grabada en un equipo se reproducirá correctamente en otro equipo y/o en otro día diferente.*

8.8 Sistema de arrastre de un magnetófono

En realidad, los ajustes mecánicos del sistema de arrastre deben hacerse antes que los ajustes eléctricos, puesto que el funcionamiento electromagnético se ve afectado en gran manera por el aspecto mecánico, pero no al revés.

Los ajustes mecánicos se realizan con mucha menos frecuencia que los eléctricos y algunas veces se necesitan para ello herramientas especiales. Dado que la mayoría de los ajustes mecánicos están realmente muy especializados y que difieren con cada equipo, no los trataremos con más profundidad en este texto. Los manuales de cada aparato detallarán el procedimiento adecuado a seguir en cada caso. A la vista de la figura 8.12, podemos observar que la cinta sale de la bobina de la izquierda, atraviesa varias guías antes de llegar al bloque de las cabezas, y continúa después, movida por el cabestrante y el rodillo presor, hasta el carrete de la derecha. Algunas guías de cinta disponen de resortes elásticos flotantes que se accionan en el instante en que el aparato comienza a funcionar; a partir de ahí comienzan a retirarse suavemente, controlando la tensión de la cinta en cada momento. El cabestrante (o «capstan») es una especie de eje unido a un motor, que sobresale un par de centímetros por encima de la superficie del magnetófono (algo más, obviamente, para el caso de multipistas, debido al mayor ancho de la cinta). Está situado en el lado derecho del bloque de cabezas y cuando está en reposo se queda muy cerca de la cinta. Cerca del cabestrante pero al otro lado de la cinta tenemos un gran rodillo de caucho: el rodillo de presión. El motor del cabestrante gira a una velocidad constante y rigurosamente controlada, siendo ésta velocidad la que determina la de la propia cinta. Cuando se comienza a grabar o reproducir, el rodillo de presión se mueve rápidamente hacia el cabestrante, quedando la cinta fuertemente atrapada entre ellos. La rotación del *capstan* controlará entonces la velocidad de la cinta sobre las cabezas.

La bobina receptora está controlada por un motor que le aplica un giro lento en el sentido contrario a las agujas del reloj, de forma que la cinta va quedando bobinada sobre el carrete.

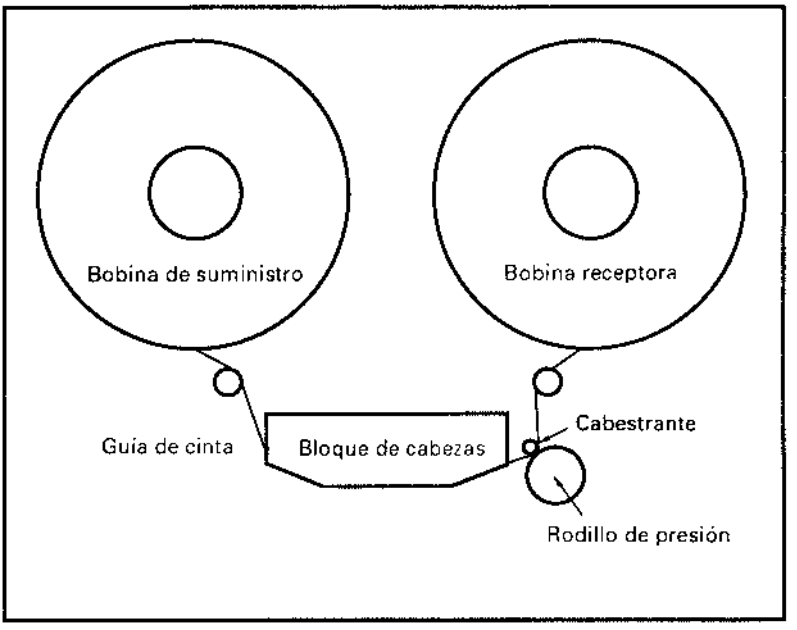


Figura 8.12 Disposición típica de las partes mecánicas operativas de un magnetófono analógico en bobina abierta.

Por su parte, la bobina suministradora de la izquierda también está controlada por un motor que ahora le hace girar lentamente en el sentido de las agujas del reloj de forma que tiende a arrastrar la cinta en el sentido opuesto al que en realidad se mueve. Esta «tensión opuesta» mantiene la cinta en firme contacto con las cabezas. Para lograr un bobinado correcto de la cinta, se necesitan diferentes grados de tensión para los distintos tamaños de carrete. Esta función se selecciona mediante un conmutador, aunque puede ser completamente automática. Existe algún modelo de magnetófono que no utiliza rodillo de presión, siendo en este caso el propio cabestrante –de un diámetro mucho mayor– quien controla la velocidad de arrastre de la cinta. Los motores de los carretes deben ser controlados con mucho cuidado durante la grabación y la reproducción para evitar que la cinta se enrolle alrededor del cabestrante. Inclusive, han aparecido sistemas de transporte sin *capstan*, con lo que la velocidad de la cinta queda gobernada enteramente por los motores de los carretes.

Cuando se da la orden de avance rápido o rebobinado, la cinta se separa de las cabezas por medio de unos ejes separadores, al mismo tiempo que los motores de bobinado aplican un giro rápido al carrete que vaya a recoger la cinta y un pequeño giro contrario al otro carrete, de forma que se mantenga una tensión constante en la cinta. La cinta en estos casos debe permanecer separada de las cabezas de manera que su movimiento rápido no cause un calentamiento o un desgaste a las mismas. Además de estos efectos, si la cinta se mantuviese en contacto con las cabezas durante los bobinados, se induciría en la cabeza de reproducción una señal de alta frecuencia y muy alto nivel, que podría llegar a dañar los altavoces, en especial las bocinas de agudos. De cualquier forma, los equipos suelen incorporar la posibilidad de que la cinta quede en contacto con las cabezas en su movimiento rápido con el fin de poder localizar algún punto de la cinta mediante escucha.

Los equipos de bobina abierta actuales se caracterizan por estar dotados con sensores de movimiento y con controles lógicos para todo el sistema de transporte. Así, si el arrastre está controlado electrónicamente, podemos cambiar directamente de rebobinado a reproducción, por ejemplo, dejando que el propio aparato memorice el comando, detenga la cinta por un instante y acto seguido lleve el rodillo de presión sobre el cabestrante, iniciando la reproducción. Los sensores de movimiento pueden implementarse de varias maneras. Por lo general se utilizan tacómetros para el control de velocidad, o bien contadores de pulsos en un rodillo guía.

El contador de cinta se basa normalmente en el funcionamiento de un rodillo colocado entre el bloque de cabezas y el carrete receptor. Con este sistema cabe esperar que haya un ligero desajuste en el tiempo, que se va acumulando a lo largo de toda la bobina, por lo que han de procurarse contadores de precisión en tiempo real.

8.9 El casete compacto

8.9.1 Sus orígenes

El casete compacto fue inventado por Philips y lanzado al mercado en 1963. Originariamente se pensó como un formato de baja calidad, que podía resultar útil en dictáfonos de oficina y aparatos similares. Por aquel entonces, los equipos domésticos eran de bobina abierta, y se predijo un auge enorme de este nuevo diseño. Se comercializaron cintas pregrabadas en bobina abierta. Sin embargo, esta explosión comercial nunca llegó a materializarse, y las evidentes ventajas del formato a casete produjeron su rápida implantación en el medio doméstico. Este formato consta de una cinta de octavo de pulgada (3 mm) de ancho, con cuatro pistas, que se desplaza a una velocidad de 4'75 cm s^{-1} (1'875 p/s). Esta drástica reducción en dimensiones y velocidad de arrastre, en comparación con el formato de bobina abierta, se tradujeron en un pobre nivel de respuesta de audio, de forma que si se quería utilizar para reproducción de música con una calidad razonable era necesario todavía un considerable desarrollo.

Manteniendo el estándar del casete compacto, los fabricantes de cintas y equipos hicieron un duro trabajo en el desarrollo y mejora del formato, siendo impresionante el nivel de calidad alcanzado hoy día comparado con sus humildes comienzos. Es digno de mención el hecho de que Sony desarrolló un formato rival, a mediados de los años setenta, llamado Elcaset. El cartucho era de mayor tamaño para poder albergar una cinta de cuarto de pulgada (6 mm), su velocidad se estableció en 9'5 cm s^{-1} (3'75 p/s) y prometía bastante mejor calidad que el formato de Philips. Pero este sistema llegó demasiado tarde; el casete compacto ya estaba bien establecido, en especial desde que el sistema Dolby B de reducción de ruido había sido ampliamente utilizado desde principios de los años setenta.

8.9.2 Cartucho y sistema de arrastre

El casete incorpora una pequeña pieza de fieltro acolchado en la cara opuesta de la superficie magnética de la cinta, cuya función es mantenerla en íntimo contacto con la cabeza en reproducción y grabación. Esto es especialmente importante dadas las pequeñas dimensiones del formato. Durante la grabación/reproducción las cabezas se desplazan hacia el casete, contactando con la cinta a través de las aberturas de acceso dejadas a tal efecto. Diseñado desde un principio para disponer sólo de dos cabezas (una de borrado y otra de grabación/reproducción), no se pensó en la posibilidad de añadir una tercera, de forma que pudieran utilizarse cabezas separadas de grabación y reproducción más específicas para cada uso. En el continuo proceso de desarrollo por parte de los fabricantes se deseó sumar una tercera cabeza y algunos optaron por alojar dentro de un mismo módulo una cabeza de grabación y una de lectura, de forma que el conjunto quedase como una sola cabeza en la posición normal del forma-

to. Otros, sin embargo, eligieron un emplazamiento en un abertura distinta del cartucho. Pero en esa otra abertura no hay fieltro de presión sobre la cinta y, por lo tanto, el sistema de arrastre debería incluir algún dispositivo que mantuviese la tensión en la cintas para asegurar un óptimo contacto cabeza-cinta. El uso de tres cabezas hace posible el monitorado de la señal que se está grabando y se necesitará doble circuitería en sistemas de reducción de ruido (doble Dolby, doble DBX, etc.), para codificar la señal a grabar y, al mismo tiempo, descodificar la señal leída en la cinta para su monitorado.

Se han desarrollado sistemas de doble cabestrante, con un conjunto cabestrante+rodillo presor situado a cada extremo del cartucho. El *capstan* colocado en el lado que suministra cinta a la cabeza, está diseñado de forma que su velocidad sea ligeramente inferior a la del otro, y será este último el que defina la velocidad real de arrastre. Tal configuración asegura una tensión óptima de la cinta sobre las cabezas sin que el funcionamiento mecánico de los rodillos del propio cartucho afecte de manera apreciable en el resultado final. En algunos equipos se empuja al fieltro presor lejos de la cabeza para que éste no afecte a la respuesta del sistema. También se han desarrollado aparatos autorreversibles, así como sistemas de «escucha previa», en los que el equipo detecta los silencios entre programas grabados en la cinta y reproduce los primeros segundos de cada uno de ellos antes de avanzar rápidamente hacia el siguiente.

8.9.3 Selección del tipo de cinta

Los diferentes compuestos magnéticos para cinta ya fueron tratados en la sección 8.1.3. Algunos equipos seleccionan automáticamente la ecualización y el bias en función del tipo de cinta concreto que se haya cargado. Para ello identifican previamente los agujeros *ad hoc* practicados en el cartucho (ver figura 8.13). Normalmente estos equipos a casete vienen provistos de ajuste de bias, pero las ecualizaciones de grabación y reproducción suelen venir ya fijadas. Si se desea un ajuste de bias para una cinta en particular, en ausencia de ajustes de ecualización, una buena forma de hacerlo es grabar ruido rosa a un nivel 20 dB por debajo del cero de los medidores (ajustados estos anteriormente con una cinta de prueba), o con ruido blanco, que podemos obtener de un receptor de FM, sintonizándolo entre dos emisoras (no será exactamente ruido blanco, pero sí muy similar). Iremos aumentando lentamente el nivel de bias hasta que el sonido que obtengamos de la cinta no pueda prácticamente distinguirse del que le damos a grabar. Un nivel de bias demasiado alto producirá un sonido desagradablemente grave y un nivel demasiado bajo nos dará un sonido excesivamente brillante (agudos muy realzados). Con equipos de tres cabezas esto es muy fácil de comprobar ya que la conmutación fuente/cinta nos permitirá una monitorización instantánea para comparar ambas señales; sin embargo, con los equipos de dos cabezas lo único que podemos hacer es rebobinar y comparar una y otra vez.

Es muy importante que, al reproducir, el ruido fuente y el que obtenemos de la cinta estén al mismo nivel, ya que de otro modo el oído notará una diferencia en la respuesta en frecuencia que podría ser simplemente una impresión subjetiva causada por la diferencia de niveles. Todo

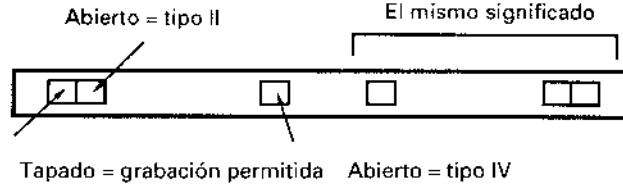


Figura 8.13 En el canto superior de un casete compacto pueden quedar distintas aberturas para hacer referencia a los diferentes tipos de cinta, y para evitar borrados accidentales.

el proceso se realizará con el reductor de ruido desconectado ya que estos sistemas pueden exagerar los errores de respuesta espectral. Después de estos ajustes deberá conectarse el reductor de ruido y grabar otro fragmento de ruido. El sistema reductor no debería introducir una degradación significativa en la señal que saquemos de la cinta. En muchos grabadores baratos el control de ajuste de bias afecta por igual a los diversos tipos de cinta, incluso es posible que sólo actúe sobre cintas de hierro, que son las que necesitan el mayor número de requisitos de ajuste.

8.9.4 Otros ajustes

Las cintas de prueba a casete permiten el ajuste de respuesta en frecuencia y de acimut. Aquí también habrá que limpiar y desmagnetizar las cabezas del equipo antes de su uso. Pequeños ajustes del acimut pueden darnos mejoras importantes en los casetes, especialmente cuando haya que reproducir cintas grabadas en otros equipos. El acimut puede ajustarse simplemente buscando la mejor respuesta en alta frecuencia (escuchado una grabación). Para ello tenemos un pequeño tornillo a un lado de la cabeza de grabación/reproducción. Algunos equipos (los menos) incorporan un sistema basado en microprocesador, como el que podemos encontrar en equipos profesionales. Este sistema se encarga de realizar automáticamente todos los ajustes necesarios para cada tipo de cinta. Los ajustes completos para cada equipo y tipo de cinta podrán estar almacenados en la memoria del sistema.

También es posible un ajuste automático del acimut en reproducción. Las salidas de los canales estéreo se filtran, se convierten en sendas ondas cuadradas y se introducen a un comparador. A la salida del comparador tendremos una tensión de control proporcional a la diferencia de fases, que se aplica a un pequeño motor de baja velocidad que ajusta el acimut de la cabeza en reproducción (se trata en realidad de un servosistema completo). Cuando el acimut es correcto no se produce ninguna tensión de control y se deja tal como está. Este sistema está continuamente activo a lo largo de todo el proceso de reproducción. Está diseñado para extraer las mejores prestaciones a cintas de música pregrabadas, así como a grabaciones realizadas en otros equipos.

8.9.5 Grabadores multipista en casete

A finales de los años setenta la compañía japonesa TEAC lanzó un equipo denominado «Portastudio». Se trataba de un grabador multipista a casete con posibilidades de mezcla y múltiples entradas incorporadas en el mismo equipo. La cinta corría el doble de la velocidad normal, 9'5 cm s^{-1} (3'75 p/s), y las cuatro pistas ocupaban todo el ancho de la cinta. Cada pista podía grabarse por separado, permitiendo también la sincronización. El aparato ofrecía así mismo la posibilidad de hacer remezclas sobre pistas, del mismo modo que en los equipos multipistas profesionales. O sea, las señales grabadas en, por ejemplo, las pistas 1, 2 y 3 podrían mezclarse y grabarse en la cuarta pista, liberando a las otras tres para otros usos. El resultado final a cuatro pistas podría entonces mezclarse en estéreo y las salidas I + D podrían grabarse, a su vez, en un grabador a casete convencional (o incluso en bobina abierta).

Una empresa de mezcladores llegó incluso a ofrecer un sistema de ocho pistas, basado en casetes, que incorporaba una sección para mezclas, con posibilidades tales como ecualización multibanda y envíos auxiliares.

8.9.6 Duplicación de casetes

La duplicación de cintas en este formato es un área de actividad importante, dado el grado de popularidad de las casetes musicales pregrabadas en el mercado discográfico. La inmensa

mayoría de las casetes se producen en equipos especiales que hacen correr a la cinta a 16, 32 ó 64 veces la velocidad normal, de forma que una longitud de cinta correspondiente a una casete de 20 minutos se puede duplicar en pocos segundos. Con uno de los sistemas, utilizado para hacer tiradas cortas, se duplican varios casetes simultáneamente, cada uno por su duplicador particular. A continuación se procede al etiquetado y empaquetado de los cartuchos, operaciones estas que se llevan a cabo automáticamente. Las cinta matriz que se pretende duplicar se copia primero en una cinta de media pulgada que se carga después en un dispositivo especial denomidado «loop-bin». Está formado, básicamente, por un recipiente plano en el que se almacena el lazo de cinta en forma de espiras sueltas, sin bobinar, con el fin de que pueda desplazarse a gran velocidad por delante de la cabeza de lectura. Durante el duplicado, se graban en la cinta unos tonos puros que informarán al sistema de carga de la casete dónde comienza y termina cada sección o programa.

A una velocidad de duplicación de 32 veces la normal se necesitan frecuencias para la corriente de polarización del orden de megahercios (MHz) y los entrehierros de las cabezas de grabación deben ser de menos de una micra de ancho para que puedan grabarse adecuadamente las altas frecuencias. Los errores de nivel y de respuesta en frecuencia resultarán incrementados por el proceso de codificación/descodificación Dolby. A tales velocidades de arrastre es difícil mantener un buen contacto cabeza-cinta; por lo tanto, normalmente tendremos pérdidas en alta frecuencia. Por todo esto, este tipo de equipos de duplicación necesitan de un mantenimiento especialmente cuidadoso, de forma que el producto final sea comparable en calidad con cualquier otro formato doméstico. Muchas de estas casetes musicales suelen grabarse a un nivel demasiado bajo, sin explotar al máximo el margen dinámico disponible. Otras tienen un sonido apagado y muchas, incluso, suenan mejor con el Dolby desconectado en reproducción. Algunos fabricantes utilizan cintas de mejor calidad que otros, sobre todo de dióxido de cromo, grabando con la ecualización de 120 μs.

Una alternativa a la duplicación de alta velocidad es la copia en tiempo real. En vez del duplicador de alta velocidad, se usa una parrilla de grabadores que graban en tiempo real. El mantenimiento de estos equipos debe cuidarse al máximo. La fuente de señal a grabar puede ser tanto un magnetófono de bobina abierta como, incluso, un reproductor digital; su salida se conecta a un amplificador distribuidor, que alimenta a cada uno de los grabadores de casete. Este es un método ideal para producir un número relativamente bajo de casetes, pues en estos casos puede no resultar rentable preparar cintas especiales para la reproducción a alta velocidad. Huelga decir que la calidad de sonido del producto resultante dependerá por completo de la calidad de todos y cada uno de los elementos de la cadena.

8.10 El cartucho de cinta

8.10.1 Sus orígenes

El cartucho de ocho pistas se utiliza desde mediados de los años cincuenta. Consiste en una bobina sinfín de cinta encerrada dentro de un cartucho de plástico, que puede ser reproducida continuamente. En el cartucho sólo tenemos un eje de bobina y no hay posibilidad de «rebobinado». Puede, no obstante, incorporar «avance rápido». En el formato original se grababan cuatro pares de pistas estéreo ocupando todo el ancho de cinta. La cinta se desplazaba siempre en el mismo sentido, con una velocidad de arrastre de 9'5 cm s^{-1} (3'75 p/s). La unión del principio con el final de la cinta estaba cubierta por un lámina metálica que podía ser detectada por el reproductor. Cada vez que esta lámina pasaba por delante del sensor, se daba la orden de desplazar hacia abajo las cabezas para reproducir el siguiente par de pistas; este proceso se repetía indefinidamente. Los cartuchos de ocho pistas pregrabados tuvieron gran acep-

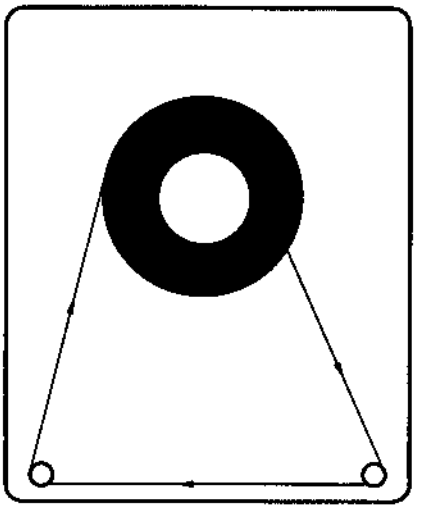


Figura 8.14 Los cartuchos albergan en su interior un bobinado de cinta sinfín.

tación en los años sesenta y setenta, principalmente en el ámbito de sonido para automóviles. Al final resultó vencido por el formato de Casete Compacto.

El cartucho NAB, sin embargo, perdura aún en círculos profesionales y se usa habitualmente dentro del ámbito de la radiodifusión y, en menor medida, en el teatro. El formato actual consta de un cartucho de tamaño «AA» (se desarrollaron varios tamaños), con un bobinado de cinta sinfín. La velocidad de arrastre estándar es de 19 cm s^{-1} (7'5 p/s), aunque algunos equipos admiten también 38 cm s^{-1} (15 p/s). Se graban dos señales en todo el ancho de cinta, al igual que en los equipos de *master* de media pulgada en bobina abierta. El reverso de la cinta está lubrificado para que pueda deslizarse suavemente desde el centro del carrete y bajo las capas de cinta antes de llegar a la cabeza de reproducción; este detalle se muestra en la figura 8.14. La cinta se desplaza movida por el cabestrante y el rodillo de presión, mientras que la tensión de la misma queda asegurada por el eje no rotatorio alrededor del cual está arrollada. Existen varias longitudes de cinta con duraciones que van desde los 10, 20, 40, 70, 100 segundos, ... hasta 10 minutos. Cuanto mayor es la longitud de cinta mayores problemas puede haber en la tensión de la misma.

Los grabadores tienen dos cabezas: una de grabación y una de reproducción, pero no tienen cabeza de borrado. El borrado se lleva a cabo mediante un aparato borrador autónomo o mediante un equipo especial que hace mover la cinta a una velocidad varias veces superior a la normal, al mismo tiempo que se aplica una cabeza de borrado que está en continuo contacto con la cinta. Los grabadores detectan la lámina metálica de la cinta, y comienzan a grabar justo después de que aquella haya pasado. De esta forma se evita que queden espacios «en blanco» durante la grabación. Para reproducción se utilizan equipos dedicados a esta función, que no incluyen ni cabeza ni circuitería asociada a la grabación. Un modelo comercial y su correspondiente cartucho se muestran en la figura 8.15. Estos equipos son muy silenciosos en su parte mecánica, lo que permite que el propio locutor de radio pueda manejarlos sin que el ruido llegue a captarse por su micrófono. Se utilizan fundamentalmente para reproducir «cuñas» o anuncios comerciales, en emisoras de radio. También se emplean en el teatro, donde los ruidos mecánicos del sistema de transporte de los equipos de bobina abierta no son admisibles. Los sistemas de reducción de ruido se utilizan sólo en trabajos que requieran gran calidad de sonido.

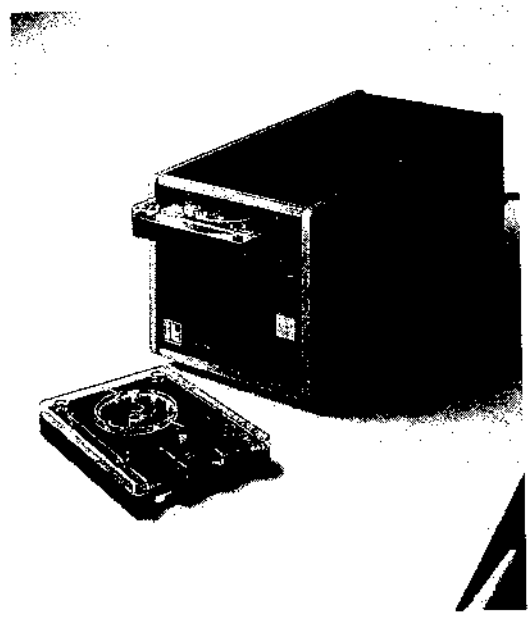


Figura 8.15 Equipo típico de cartuchos para radiodifusión, y su correspondiente cartucho de cinta, de ITC. (Cortesía de FWO Bauch).

8.10.2 Grabación y reproducción

Para grabar se pulsa la tecla RECORD (grabación). Una señalización luminosa confirma que se ha recibido esta orden, pero el aparato no mueve la cinta todavía. Si a continuación se pulsa la tecla PLAY (funcionamiento), la cinta comienza a moverse y el aparato grabará automáticamente un tono puro de 1 kHz durante medio segundo en una pista especial (pista de «cue»), situada en medio de las dos pistas estéreo. Este tono «primario» servirá para que el grabador detecte el comienzo de la cinta –después de que ésta haya dado una vuelta completa– y se detenga inmediatamente después. Simultáneamente se habrá estado grabando la señal de audio en el modo habitual. Cuando se haya registrado completamente el programa deseado, se debe presionar la tecla FAST FORWARD (avance rápido). En ese mismo instante se grabará automáticamente en la pista «cue» un tono de 150 Hz. El aparato dejará de grabar y comenzará un avance rápido, que puede llegar a ser de hasta tres veces la velocidad normal de reproducción. A este tono de 150 Hz se le denomina «secundario» y sirve para que, cuando se detecte durante la reproducción, se interprete como una orden de avance rápido automático, al mismo tiempo que se corta la salida de audio. Cuando se lea el tono «primario» de 1 kHz el arrastre pasará a su posición de reposo dejando a la cinta en el principio de la grabación.

Si damos la orden de reproducción la cinta comienza a desplazarse a velocidad normal. Después de haber reproducido todo el programa detectará el tono de 150 Hz y se pondrá en avance rápido, enmudeciendo al mismo tiempo las salidas de señal de audio. Después de algunos segundos el sistema se parará, indicando que se ha alcanzado de nuevo el principio de la grabación (se habrá detectado el tono «primario»). El cartucho podrá entonces sacarse del equipo y ser etiquetado y empaquetado.

A veces interesa grabar varios efectos o «cuñas» dentro del mismo cartucho, de forma que puedan ser reproducidos en rápida sucesión. Para ello se utiliza el método comentado anteriormente, pero en vez de pulsar el avance rápido después de grabar el primer efecto, se presiona la tecla STOP (parada). A continuación se vuelve a pulsar la tecla de grabación, que prepara al equipo para grabar, y seguidamente se presiona de nuevo la tecla PLAY para grabar el siguiente efecto. De este modo, pueden grabarse varios efectos sonoros o secciones en el cartucho, estando presente un tono de parada en el principio de cada sección grabada. Puede también incluirse un tono de avance rápido después de haber grabado el último fragmento.

Otra posibilidad es utilizar un lazo sin fin verdadero. El grabador tiene un conmutador que anula el tono de parada de 1 kHz, de forma que sólo se grabe el material de programa. Sin embargo, se puede utilizar momentáneamente este tono para cronometrar la longitud total de la cinta. Una vez conocido este dato se comienza la grabación de la señal que queramos tener en lazo sinfín. Con ayuda de la escucha de la señal que se está grabando y sabiendo el tiempo de grabación que admite el lazo, deberemos identificar cuándo comienzan a solaparse las grabaciones. En ese instante se para la grabación y habremos obtenido una bucle sinfín sin necesidad de utilizar tonos de parada. Este tipo de grabaciones pueden resultar interesantes para mantener un sonido de fondo de, por ejemplo, oleaje del mar o un efecto de viento.

Volviendo al primero de los sistemas, el equipo debe ser capaz de leer el tono de parada tanto a velocidad normal de reproducción (1 kHz), como a tres veces esa velocidad durante el avance rápido (3 kHz). El tono de 150 Hz sólo será leído a velocidad normal de reproducción, siendo esta la indicación que pondrá al sistema de arrastre en avance rápido. También puede grabarse un tono adicional de 8 kHz, conocido como «terciario», con el que se puede dar la orden de arranque para otro equipo, o cambiar la diapositiva de un proyector, por ejemplo. En la pista de «cue» también pueden grabarse señales FSK («Frecuency Shift Keying», conmutación por desplazamiento de frecuencia) las cuales se descodifican mediante un ordenador y pueden dar información sobre el contenido del programa grabado en el cartucho. Esto resulta muy útil, por ejemplo, en estudios de radiodifusión, ya que si estos cartuchos se utilizan (como es habitual) para la emisión de anuncios publicitarios, mediante este sistema podrán contabilizarse a efectos de facturación.

Lecturas recomendadas

Jorgensen, F (1988) *The Complete Handbook of Magnetic Recording*. TAB Books.
Mallinson, J.C. (1987) *The Foundations of Magnetic Recording*. Academic Press.

Ver también *Lecturas generales recomendadas* al final de este libro.

Capítulo 9

Reducción de ruido

Las técnicas de reducción de ruido han sido aplicadas a magnetófonos analógicos de cualquier tipo, micrófonos inalámbricos, transmisión y recepción de radio, líneas de tierra, estaciones de satélites, discos de vinilo, e incluso a cualquier magnetófono digital. Se esbozarán en este capítulo los principios generales de operación, seguidos por una discusión de algún ejemplo conocido. Para profundizar en el estudio de algún sistema en concreto, remitimos al lector a la lista de lecturas recomendadas al final de este capítulo.

9.1 ¿Por qué es necesario un reductor de ruido?

Un sistema reductor de ruido usado correctamente reduce el nivel de señal no deseable que se introduce en cualquier proceso de grabación/reproducción o en un uno de transmisión/recepción (ver figura 9.1). Entre los ruidos que pueden surgir se encuentran el «soplo», o ruido de alta frecuencia, zumbidos, interferencias, y el conocido como «efecto copia» en grabadoras analógicas, que se debe a imperfecciones en el proceso de almacenamiento o en el de transmisión. En el campo de las comunicaciones, una señal enviada a través de una línea de tierra es propensa a resultar interferida por distintas fuentes, lo que significa que, junto con esa señal, aparecerán otras que se mezclarán con ella. Una señal grabada en un casete se reproduce acompañada siempre de un «soplo» de alta frecuencia. El ruido no deseado presente en una señal antes de grabarla o transmitirla es muy difícil de eliminar, sin extraer una parte de la señal deseada. Para reducir el «soplo» se podrían disminuir los agudos, pero se perdería al mismo tiempo la información de alta frecuencia del propio sonido; de ello resulta un sonido amortiguado y «opaco».

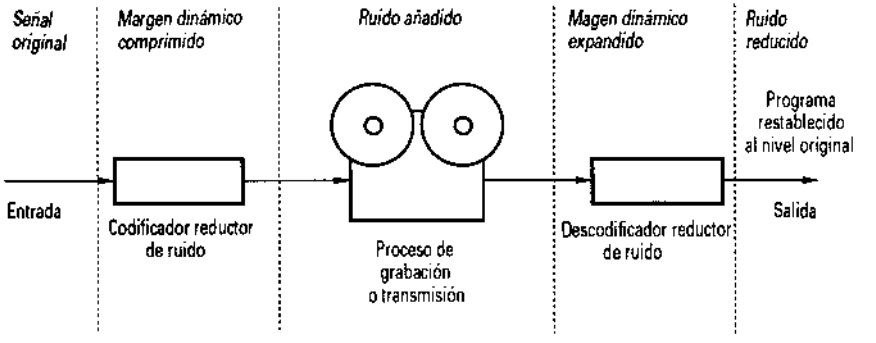


Figura 9.1 Representación gráfica de un proceso reductor de ruido de compresión/expansión.

9.2 Métodos de reduccion de ruido

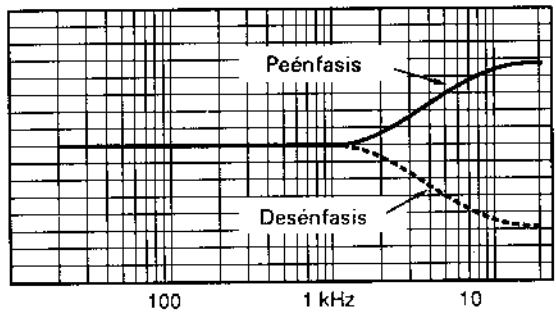
9.2.1 Preénfasis variable

El preénfasis (ver Ficha Temática 9.1) es una solución muy sencilla al problema de la reducción de ruido, pero no es la panacea. Algunas fuentes de sonido, incluso la música, tienen un descenso de energía en alta frecuencia, de manera que las señales de niveles más bajos a AF pueden ser aumentados en toda su extensión sin demasiado riesgo de saturar la cinta. Pero la cinta tiende a saturarse más fácilmente a alta que a baja frecuencia (ver el capítulo anterior), de modo que aparecerían niveles altos de distorsión y compresión si se aplica demasiado preénfasis en la etapa de grabación. Lo que se necesita es un circuito capaz de detectar el nivel de la señal sobre una base continua, controlando el grado de preénfasis de tal forma que éste no exista para niveles altos de señal, pero actúe de forma considerable para niveles bajos (ver figura 9.2). Esto se puede conseguir incorporando un filtro en una vía paralela por la que sólo pasan señales de bajo nivel y alta frecuencia, añadiendo esta componente a una señal sin preénfasis. Al reproducir, puede usarse un circuito recíproco de desénfasis. La ausencia de reducción de ruido en altos niveles de señal no tiene importancia, puesto que las señales de alto nivel tienen un efecto de máscara sobre el ruido de bajo nivel (ver Ficha Temática 2.3).

Un proceso de este tipo se podría denominar de «*compansión*» (o sea compresión/expansión); en otras palabras, un proceso que comprime el rango dinámico de la señal durante la grabación y lo expande en la reproducción. El énfasis variable de AF descrito anteriormente es un ejemplo de compresión selectiva, que actúa sólo en una determinada banda de frecuencias. Es importante aclarar que la etapa descodificadora es un reflejo de la codificadora, y que no es posible usar una sin la otra. Las grabaciones no *codificadas* por un sistema reductor de

FICHA TEMÁTICA 9.1 Preénfasis

Una aproximación al problema de la reducción del nivel aparente de ruido puede ser condicionar la señal entrante de algún modo para amplificarla posteriormente por encima del ruido. El «soplo» es más molesto a alta frecuencia. Por lo tanto, se pueden realzar las altas frecuencias durante la grabación. Más adelante, en reproducción, las señales AF serían leídas con un énfasis no natural; pero si ahora se atenúa la misma región para reducir la señal a su nivel original, cualquier soplo en la misma banda será también atenuado en la correspondiente cantidad, y de esta manera puede lograrse un grado de reducción de ruido sin afectar el equilibrio general de frecuencia de la señal. Esto se conoce como preénfasis (en grabación) y desénfasis (en reproducción), según se muestra en la figura.



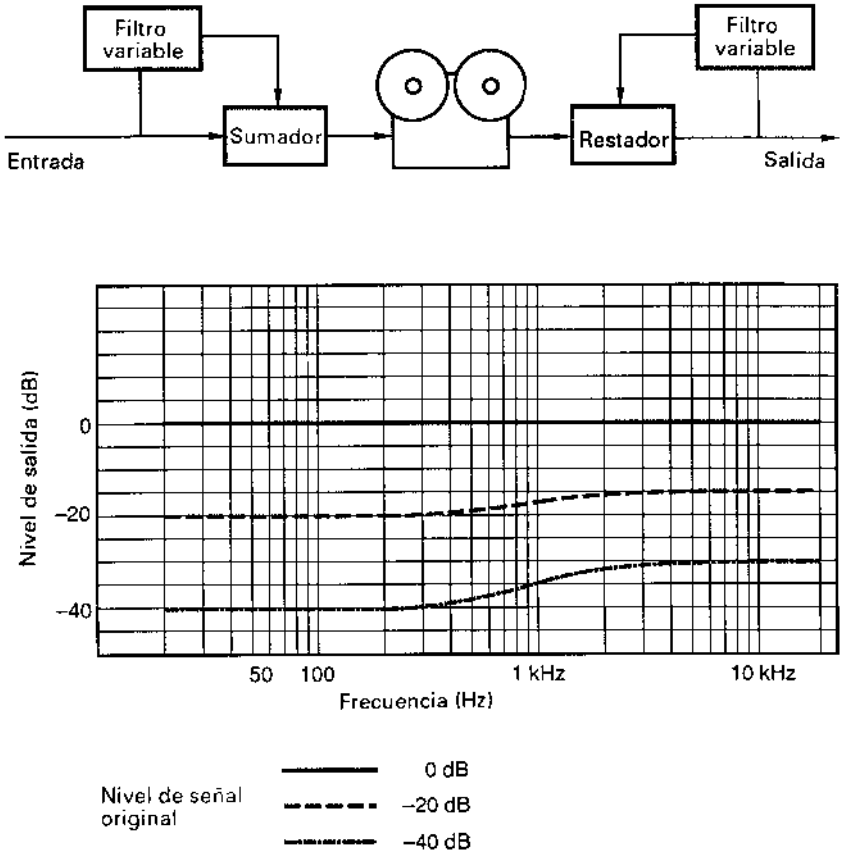


Figura 9.2 Un sistema reductor de ruido sencillo podría realzar las altas frecuencias en los niveles bajos de señal durante la codificación, y eliminarlas en la descodificación (aquí se muestra la característica del codificador).

ruido no pueden pasar a través de un descodificador para reducir su ruido. De forma similar, las cintas codificadas suenan de manera extraña, a menos que sean debidamente descodificadas; su sonido suele ser demasiado brillante y con fluctuaciones en el nivel de AF.

9.2.2 Dolby B

El proceso anterior se usa como base para el sistema reductor de ruido Dolby B, que se encuentra en la mayoría de las pletinas de casete. Concretamente, el umbral inferior que entra en juego con reducción de ruido está alrededor de 20 dB por debajo del nivel de referencia del estándar magnético conocido como «Nivel Dolby» (200 nWb m^{-1}). El realce máximo de AF del sistema Dolby B es de 10 dB a partir de los 8 kHz, proporcionando de esta forma un máximo de 10 dB de reducción de ruido. Una pletina de alta calidad, sin reducción de ruido, utilizando una cinta de hierro buena, producirá una relación señal/ruido de unos 50 dB, referidos al nivel Dolby. Cuando se conecta el sistema Dolby B, los 10 dB de mejora la hacen subir hasta 60 dB (que es más adecuado para música de buena calidad y para grabaciones de voz). La

citada mejora se aprecia cuando el ruido se mide según la curva de ponderación CCIR 468-2 (ver sección A1.5) y no será tan grande cuando se mida sin dicha ponderación.

El Dolby B incorpora una «banda deslizante» sobre la que se aplica el preénfasis, de tal forma que la frecuencia por encima de la cual tiene lugar la compresión/expansión varía de acuerdo con la naturaleza de la señal. Puede «deslizarse» hasta los 400 Hz. El objetivo es asegurar que siempre se produzca el máximo enmascaramiento del ruido de bajo nivel, y que las señales de alto nivel en baja frecuencia no entran en «batido de ruido» (fenómeno que tiene lugar cuando la señal de alto nivel en una banda origina una menor reducción de ruido global, provocando que el ruido en otra banda aumente temporalmente. Por lo general, este ruido no resulta enmascarado por la señal de alto nivel, debido a la diferencia de frecuencia entre la señal y el ruido).

Como el proceso Dolby depende del nivel de la señal, es necesario que éste sea en el descodificador exactamente el mismo que el nivel Dolby del codificador. Es decir, que un determinado magnetófono debe ser configurado internamente de forma que las cintas grabadas en él -o en otros aparatos- y codificadas con Dolby, reproduzcan en el descodificador el nivel eléctrico adecuado para una descodificación correcta. Esto es independiente del verdadero nivel de salida de la propia máquina, que varía según el modelo. Si el nivel de reproducción, por ejemplo, es demasiado bajo, el descodificador recorta en exceso los agudos porque el nivel umbral de -20 dB se habrá movido hacia abajo, provocando que las señales por encima de este nivel sufran también un desénfasis. De esta manera resultará un error en la respuesta en frecuencia. De igual modo, si la respuesta en frecuencia de un magnetófono presenta errores significativos a AF, estos resultarán acentuados por el proceso de grabación/reproducción Dolby.

El filtro llamado MPX «multiplex» es obligatorio con los sistemas Dolby B, y extrae el tono piloto de 19 kHz presente en las transmisiones estéreo en FM. Esto es necesario puesto que el tono piloto puede aparecer incluso en la salida de un sintonizador AM, afectando artificialmente el nivel de codificación de las señales de AF en una grabación de la radio. Puesto que la respuesta en frecuencia de muchos magnetófonos no está extendida a 20 kHz, el tono no estaría presente en la reproducción, y el descodificador no seguiría correctamente la trayectoria de la señal codificada, provocando batido de ruido y errores de respuesta. En algunos magnetófonos el filtro es conmutable. En aparatos más baratos el filtro simplemente elimina toda frecuencia superior a 15 kHz, mientras que en aparatos mejores lo que hay es una «muesca» para 19 kHz dentro de la curva de respuesta.

9.2.3 Dolby C

El Dolby B llegó a incorporarse ampliamente en los casetes a principios de los años 70, pero a finales de esa década la competencia entre distintas compañías ofreció mayores niveles de reducción de ruido, llevando a Dolby a introducir el Dolby C, que alcanza 20 dB de reducción. El sistema funciona para una frecuencia menor que el Dolby B (100 Hz), e incorpora circuitería adicional (conocida como «anti-saturación») que reduce el «aplastamiento» de altas frecuencias cuando están presentes niveles altos de señal. Para desensibilizar el sistema contra los errores de respuesta a AF -tales como el desajuste de acimut- que podrían resultar exagerados si no se tomaran medidas, la mayoría de los procesos de reducción de ruido tienen lugar entre 1 kHz y 10 kHz, siendo menos los que se producen por encima de los 10 kHz (donde el ruido no es destacable). Dolby C, que presenta una mayor relación comprensión/expansión que el Dolby B, acentuará en mayor medida los errores de respuesta de un magnetófono. Las cintas no descodificadas en Dolby C sonarán extremadamente brillantes.

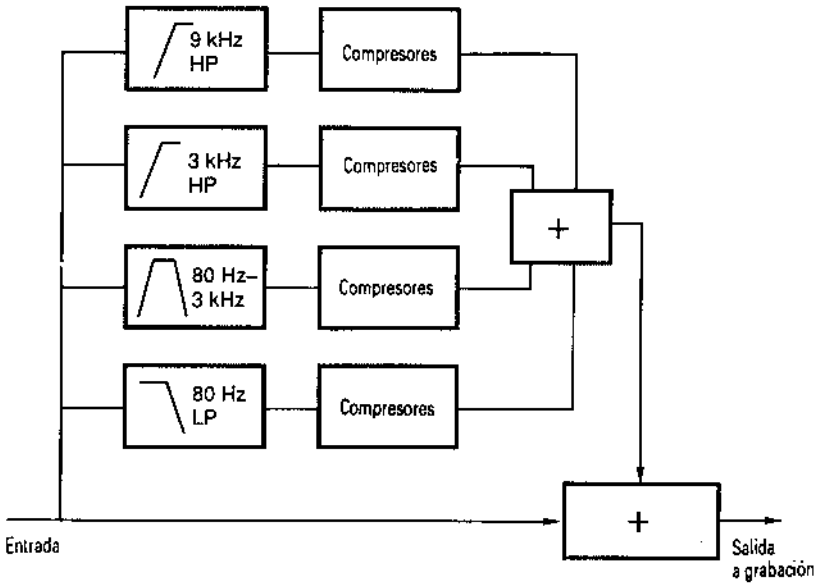


Figura 9.3 Durante la codificación en el sistema Dolby A se añade una señal «diferencial» de bajo nivel a la señal principal. Esta señal diferencial es producida en una red paralela que opera independientemente en cuatro bandas de frecuencia. La señal diferencial se elimina posteriormente en la descodificación.

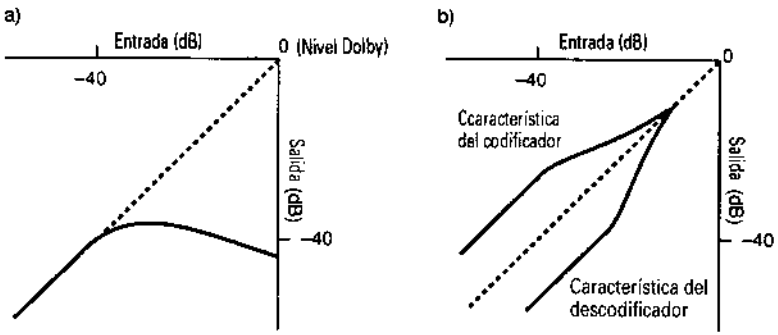


Figura 9.4 (a) Componente de la señal diferencial producida en una via paralela Dolby A. (b) Grafico del nivel de entrada frente al nivel de salida de una unidad Dolby A después de añadir o extraer la componente diferencial.

9.2.4 Dolby A

El Dolby A fue presentado en 1965, y es un sistema reductor de ruido profesional. En esencia hay cierto parecido con el proceso anterior, pero en el codificador Dolby A el proceso de reducción de ruido se divide en cuatro bandas de frecuencia separadas, como se muestra en la figura 9.3. Cada banda produce una componente «diferencial» de bajo nivel, y la salida diferencial de la red paralela se recombina con la señal principal. La contribución de la com-

ponente diferencial al total de la señal depende del nivel de entrada, teniendo máximo efecto por debajo de -40 dB, referido al nivel Dolby (ver figuras 9.4(a) y (b)).

La división de bandas implica que cada una actúa independientemente, de forma que una señal de alto nivel en una banda no disminuye el esfuerzo de la reducción de ruido de otra banda de bajo nivel. De este modo, se mantinene la máxima eficacia para un amplio margen de señal de programa (no se tiene en cuenta el enmascaramiento entre bandas). Las dos bandas superiores son paso alto con superposición, ofreciendo una reducción de ruido de hasta 10 dB alrededor de 5 kHz, que aumenta hasta 15 dB en el extremo superior del espectro.

El descodificador es un reflejo del codificador, excepto que la señal diferencial producida por la red paralela es *eliminada* ahora de la señal principal; con esto se devuelve la señal a su estado original, reduciendo al mismo tiempo el ruido introducido entre el codificador y el descodificador.

9.2.5 Dolby SR

A finales de los 80 se introdujo el Dolby SR «Spectral Recording» que proporciona una mayor reducción de ruido: del orden de 25 dB. Ha sido de gran ayuda para prolongar el tiempo de vida de los magnetófonos analógicos, estéreos y multicanal, ante la aparición de las grabadoras digitales. El Dolby SR se diferencia del Dolby A en que, mientras que el último abandona la señal hasta que cae por debajo de cierto umbral, el primero intenta mantener una completa reducción de ruido (o sea, un máximo realce de señal durante la grabación) a lo largo de todo el espectro de frecuencia, hasta que la señal entrante sobrepasa el nivel umbral. La banda de frecuencias donde esto ocurre se somete entonces a un menor refuerzo. Esto es como mirar el mismo proceso desde direcciones opuestas, pero el sistema SR trata de conseguir un considerable nivel de grabación en la cinta a lo largo de todo el espectro para que el márgen dinámico sea siempre el mejor posible.

Ello se consigue por medio de diez filtros de banda fija y deslizante, con pendiente suave. Los filtros de banda fija pueden variar su ganancia. Los filtros de banda deslizante pueden ajustarse para cubrir diferentes rangos de frecuencia. Se trata, por tanto, de un sistema multibanda bastante complejo, que necesita analizar la señal entrante para determinar su energía a distintas frecuencias. Se incorpora también la desviación espectral y la antisaturación (ver sección 9.2.3). El Dolby SR es un sistema reductor de ruido particularmente inaudible, más tolerante frente a los desajustes de nivel y a las variaciones de velocidad en la reproducción que los sistemas anteriores. Para los casetes de calidad media existe una versión simplificada tipo «S», que también se emplea en algunos magnetófonos multipista semiprofesionales.

9.2.6 dbx

El sistema dbx es otro de uso muy extendido. Ofrece alrededor de 30 dB de reducción de ruido y se diferencia del resto de los sistemas Dolby en lo siguiente. El sistema dbx comprime globalmente la señal de entrada a lo largo de todo el espectro de frecuencias, y además realiza un preénfasis en alta frecuencia (realza los agudos). No depende del nivel, y lo que hace es comprimir una señal de entrada con un margen dinámico de, por ejemplo, 90 dB para dejarla en una de 60 dB, que de esta forma se ajustará dentro del rango de capacidades del magnetófono analógico. Durante la reproducción, se expande en una cantidad equivalente, al mismo tiempo que se aplica el desénfasis de agudos.

Debido a los dos factores que intervienen en este proceso -a saber, relaciones de compresión/expansión elevadas y preénfasis/desénfasis de agudos- los errores de respuesta en frecuencia pueden resultar exagerados. Por tanto, el dbx tipo I está pensado para su uso con

equipos profesionales y el tipo 2 para equipos domésticos, como pletinas de casete, donde la reducción de ruido a altas frecuencias se ha suavizado ligeramente, a fin de no exagerar los errores de respuesta. El grado de comprensión/expansión es fijo, es decir, no depende del nivel de la señal de entrada. Así mismo, la reducción de ruido no queda dividida en bandas de frecuencia. Estos factores a veces producen una modulación audible del «soplo» de fondo. Tal es el caso de grabaciones de música clásica, con amplio margen dinámico, donde pueden aparecer además batidos audibles de ruido. Sin embargo, el sistema ofrece impresionantes niveles de reducción de ruido, particularmente apropiados para el soporte de casete. Por otro lado, no necesita niveles de alineación exactos.

9.2.7 telcom c4

El sistema reductor de ruido ANT telcom c4 aparece algo más tarde que el Dolby y el dbx, en 1978. Basándose en la experiencia obtenida por estos dos sistemas, el telcom c4 ofrece una máxima reducción de ruido del orden de 30 dB. Al igual que el Dolby, depende del nivel, y también divide el espectro de frecuencias en cuatro bandas que serán tratadas independientemente. Sus creadores afirman que el sistema c4 se ve menos afectado por los errores de nivel en grabación/reproducción que el Dolby A. El sistema trabaja bien en operación, y los efectos secundarios son mínimos.

Hay otro sistema que ofrece esta compañía, llamado «hi-com», más barato y simple, destinado a equipos de estudio doméstico y pletinas.

9.3 Alineación de los sistemas de reducción de ruido

Para asegurar una ganancia unitaria en el conjunto del sistema (tras la grabación y reproducción), junto con un correcto seguimiento del descodificador Dolby, es importante alinear todas las señales en la cadena de reducción de ruido. Existen muchos métodos, unos más rigurosos que otros, pero durante una operación normal en un estudio deberían seguirse los pasos que se explican a continuación. Debe hacerse después de alinear el magnetófono (éste, a su vez, se ajustará sin tener activa la unidad de reducción de ruido, NR).

Para un codificador Dolby A, el mezclador generará un tono de 1 kHz a +4 dBu (lo que equivale normalmente a 5 en el picómetro, PPM), y se llevará a la entrada de la unidad de reducción de ruido. La unidad estaría en el modo «NR out» (desconectada) , y puesta en «grabación». El nivel de entrada de la unidad NR se ajustará para que este tono esté sobre la marca de nivel «NAB» en el medidor (ver figura 9.5). La salida de la unidad debería ajustarse entonces hasta que su nivel eléctrico sea también +4 dBu (si el magnetófono tiene medidor, suponiendo que estos medidores sean fiables y que se conozca su alineación, el nivel podría medirse aquí).

Al comienzo de una cinta codificada en Dolby se suelen grabar algunos segundos de «tono Dolby» (en caso de Dolby A) o Ruido Dolby (en caso de Dolby SR), junto con los otros tonos de alineación (ver sección 8.7.3). Mientras se está grabando la alineación, la propia unidad Dolby genera el tono Dolby, que consiste en un tono de 700 Hz modulado en frecuencia al nivel de referencia de la alineación interna del Dolby. Este tono puede ser fácilmente reconocido entre otros tonos de alineación que pueden estar presentes en la cinta. Una vez ajustado el nivel de salida de la grabación, debe pulsarse el botón de tono Dolby en la correspondiente unidad y grabar el tono al comienzo de la cinta.

Para alinear la reproducción Dolby se debe estar en modo «reprodución» y «NR out». Se reproduce el tono Dolby grabado y se ajusta el nivel de entrada para que el medidor interno se situe sobre la marca «NAB». Se ajustará entonces el nivel de salida a +4 dBu, o de modo

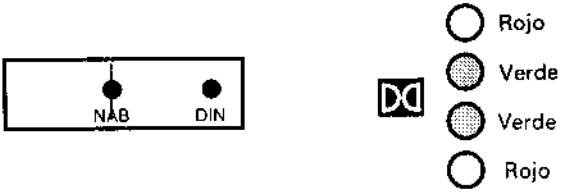


Figura 9.5 En los equipos Dolby el nivel Dolby puede aparecer indicado de dos maneras: mediante un medidor mecánico (izquierda) o mediante pilotos LED rojos y verdes (en la figura de la derecha). El medidor está normalmente alineado con la marca «18'5 NAB», o ajustado de tal forma que los dos LEDs verdes estén encendidos al mismo tiempo.

que el medidor del mezclador marque 5 en el PPM cuando el magnetófono conmute a monitor.

Para su funcionamiento, las unidades de grabación y reproducción deberán conmutarse a «NR in».

Para distinguir cintas grabadas con este sistema, el Dolby SR utiliza ruido rosa en vez de tono Dolby. Esto resulta bastante útil, puesto que permite alinear la reproducción Dolby cuando no se dispone de un medidor de nivel preciso. Puesto que los errores que tengan lugar en el proceso de alineación se traducirán en errores en la respuesta en frecuencia, los efectos resultarán audibles en una banda de ruido rosa. Se dispone de una posibilidad de conmutación automática entre ruido rosa generado internamente y ruido ajeno a la cinta, permitiendo al usuario ajustar el nivel de alineación en reproducción hasta que no aparezca ninguna diferencia entre los dos espectros. En circunstancias normales los sistemas Dolby SR serán alineados de la misma manera que los Dolby A, excepto que en la cinta se graba una banda de ruido en vez de un tono. La mayoría de los sistemas usan medidores LED para indicar el nivel correcto, disponiendo de cuatro diodos de este tipo, tal y como se muestra en la figura 9.5.

9.4 Consideraciones en cuanto a operación

Debemos decir algo con respecto a la variación de velocidad. No es raro tener que ajustar un poco la velocidad de reproducción para alterar ligeramente el tono, o para variar el tiempo total de reproducción. En el trabajo original se emplean a veces numerosos cambios de velocidad. El cambio de tono significa que la descodificación Dolby no tendrá la debida precisión, puesto que las bandas de frecuencia no corresponden ahora con las del proceso de grabación, produciéndose desadaptaciones en el canal Dolby.

Los sistemas reductores de ruido profesionales están disponibles como unidades de canal único, paquetes estéreo, y en grupos de 8, 16 y 24 canales para funcionamiento con multipista. Todos ellos generalmente se situan en bastidores de 19 pulgadas (48 cm). Algunos modelos están diseñados para adaptarse exactamente dentro de los magnetófonos multipista, de forma que la combinación total de grabador más reductor de ruido quede encajada en una unidad.

Cada canal reductor de ruido es conmutable manualmente entre codificación para grabar y descodificador para reproducir. Se dispone además de una unidad especial de entrada, que acepta una tensión continua de señalización, via control remoto, que servirá para conmutar la unidad al modo codificador. Anulando el voltaje de CC se hace que la unidad conmute a la función descodificador para reproducción. Los magnetófonos profesionales suelen disponer de esta función controlada por CC, uniéndola a la señalización de «status» de grabación de cada pista. De esta forma, cuando una pista entre en grabación, su correspondiente canal de

reducción de ruido pasará a funcionar automáticamente en modo codificación. El sistema permite que la selección del estado de reducción de ruido correcto lo haga la propia grabadora, lo que es una prestación muy interesante, sobre todo cuando se están usando un gran número de canales.

9.5 Reducción de ruido de acabado único

9.5.1 Sistemas generales

Varias compañías ofrecen sistemas reductores de ruido llamados de «acabado único», que se proponen «limpiar» la señal o el ruido existente en la grabación. Funcionan detectando en todo momento el nivel de la señal entrante, y cuando éste cae por debajo de cierto umbral, el circuito comienza a reducir los agudos progresivamente, disminuyendo de esta forma el nivel de «soplo». Debido a la variación de respuesta que tiene el oído con el nivel (ver Ficha Temática 2.2), la señal principal, si es de bajo nivel, en teoría se verá menos afectada por la reducción de agudos que si tuviera un nivel alto. Las señales de niveles altos quedan sin procesar. El sistema es, de hecho, bastante parecido al proceso descodificador de Dolby B, aunque, por supuesto, carece del correspondiente codificador propio de este sistema. Los controles del nivel de entrada de estos equipos deben ajustarse cuidadosamente, de forma que presenten el efecto de la caída en agudos en función del umbral concreto que tenga la señal que está siendo procesada. De esta manera se logrará un compromiso correcto entre el grado de reducción de soplo y el grado de pérdida de agudos en los pasajes con menos nivel sonoro. Este tipo de dispositivos deben ser usados con prudencia -no están pensados para permanecer conectados permanentemente en el circuito- y debe hacerse una valoración para ver si la señal procesada es realmente mejor que la señal sin procesar.

Si se utiliza un sistema de acabado único en un programa estéreo se deben emplear unidades capaces de «engancharse» electrónicamente, para que se aplique exactamente el mismo grado de recorte de agudos a cada canal; de no ser así, las variaciones en el equilibrio de frecuencias entre canales provocarán imagenes estéreo «errantes».

9.5.2 Puertas de ruido

La puerta de ruido puede verse como otro sistema reductor de ruido de acabado único. Funciona de la siguiente manera. Se dispone de un control de umbral que puede ajustarse para que la salida de la unidad sea silenciosa (la puerta está «cerrada») cuando el nivel de señal cae por debajo del umbral. Durante los períodos en los que el nivel de la señal es nulo o muy bajo (posiblemente debido sólo al ruido de la cinta o al del amplificador de guitarra), la unidad se corta. Para que la repentina aparición de señal abra la salida sin un recorte audible del transitorio inicial, se emplea un tiempo de ataque muy rápido. El instante de tiempo previo al cierre la puerta, cuando la señal haya caído por debajo del nivel umbral prefijado, puede variarse a voluntad. El umbral de cierre está diseñado para que sea más bajo que el umbral de apertura (conocido como *histéresis*), de tal modo que un nivel de señal que está en la línea divisoria no confunda a la unidad -y ésta no sepa si abrirse o cerrarse- lo que causaría una «oscilación de la puerta».

Estas unidades son muy útilies cuando, por ejemplo, se está grabando una guitarra eléctrica que tiene mucho ruido. Durante los intervalos en los que el guitarrista no toca se cierra la salida para que el ruido no se añada a la mezcla. A veces también se usa de forma similar durante las remezclas con multipista, donde se enmudece la salida del magnetófono mientras la cinta no tenga nivel suficiente de señal. De este modo se elimina la contribución de ruido de estos canales.

La puerta de ruido se usa a menudo en retransmisiones vía satélite y operaciones en líneas telefónicas de larga distancia. Reina un impresionante silencio cuando nadie está hablando, pero cuando se comienza a hablar aparece un ruido repentino que acompaña al interlocutor hasta que deja de hablar. Esto puede llegar a ser en ocasiones desconcertante para la persona que se encuentra al otro lado de la línea, al tener la impresión de que se ha cortado la comunicación cuando el ruido desaparece de repente.

Las puertas de ruido también pueden usarse por sí mismas como efectos. En este sentido, es frecuente utilizar trampas para baterías en las grabaciones de música «pop». Esta trampa proporciona un efecto duro de reverberador con puerta de ruido, para el que se ajusta un nivel de umbral muy alto en la puerta, de forma que medio segundo después de que se ha golpeado al tambor, la fuerte reverberación desaparece bruscamente. Las cajas de percusión, así como algunos procesadores, pueden imitar este efecto.

9.5.3 Extracción digital de ruido

Se han desarrollado sistemas reductores de ruido de acabado único, extremadamente sofisticados y basados en ordenadores. Normalmente son caros y se ofertan como un servicio con un número limitado de prestaciones. Una determinada grabación ruidosa tendrá normalmente un breve período de tiempo en el cual esté únicamente presente el ruido sin ningún programa. Por ejemplo, el que proviene de un surco de un viejo disco de 78 rpm es una muestra de la característica de ruido de dicha grabación. Este ruido puede ser analizado por un ordenador, ser reconocido como una componente indeseable de la señal, y finalmente eliminado electrónicamente. Las discontinuidades imprevistas en el programa debidas a arañazos o marcas parecidas pueden ser reconocidas como tales y ser también eliminadas. El hueco se rellena con nuevo material similar al que existe alrededor del mismo. No todos estos procesos se producen habitualmente en «tiempo real». En muchas ocasiones será necesario un tiempo de procesado mucho mayor que lo que dura el propio programa. No obstante, a medida que se incrementa la velocidad de procesado digital de la señal son posibles cada vez más operaciones en tiempo real.

Lecturas recomendadas

Dolby, R (1967) An audio noise reduction system. *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 15, pp. 383-388.

Dolby, R (1970) A noise reduction system for consumer tape applications. Presented at the *39th AES Convention. J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, vol. 18, p. 704.

Dolby, R. (1983) A 20 dB audio noise reduction system for consumer applications. *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 31, pp. 98-113.

Dolby, R (1986) The spectral recording process. Presented at the *81st AES Convention*. Preprint 2413 (C-6). Audio Engineering Society.

Ver también *Lecturas generales recomendadas* al final de este libro.

Capítulo 10

Grabación digital

10.1 Comparación entre grabación analógica y digital

En la grabación analógica, como ya se describió en un capítulo anterior, se utiliza un micrófono para transformar las variaciones de presión sonora en variaciones de voltaje. Este voltaje variable se puede adaptar después a distintos medios: cambios del patrón de magnetización de la cinta, alteraciones de las zonas claras y oscuras en una banda sonora de cine, desviaciones variables en el surco, en el caso de un LP, etc.

Como la grabación analógica está directamente relacionada con la onda sonora, la reproducción es relativamente sencilla, puesto que las variaciones de la señal grabada se pueden convertir directamente en variaciones de presión sonora, con ayuda de los correspondientes transductores y amplificadores. El problema, sin embargo, está en que el sistema de reproducción es incapaz de distinguir entre señales *deseadas* y señales *no deseadas*, siendo estas últimas el resultado de un proceso de grabación no del todo perfecto, o consecuencia de distintas interferencias introducidas en la señal. Por ejemplo: la aguja de un tocadiscos no puede distinguir si el movimiento que sufre es debido a un arañazo en el disco o a una desviación importante como consecuencia de un transitorio fuerte en la música. El arañazo genera una señal indeseada debida a un defecto en el soporte de la grabación que se reproduce como un «clic».

Por otro lado, la grabación digital transforma la onda generada por un micrófono en una serie de números, cada uno de los cuales representa un instante concreto en el tiempo. Estos números se graban en forma codificada, lo que permite al sistema detectar si la señal reproducida es correcta o no. Un reproductor de Disco Compacto (CD) es capaz de distinguir entre las señales deseadas y las que no lo son, y puede, por tanto, rechazar estas últimas en la mayoría de los casos. El audio digital es también mucho más tolerante con los canales de grabación defectuosos que el audio analógico, y las distorsiones e imperfecciones durante el proceso de grabación no tienen por qué afectar necesariamente a la calidad del sonido, tanto en grabación como en reproducción. En este capítulo se describirá, sin entrar en detalles demasiados técnicos, cómo puede lograrse esto. En el libro *Digital Audio Operations*, de F.J. Rumsey (1991) se recoge un estudio sobre formas prácticas de operación en audio digital.

10.2 Cadena completa de la señal digital de audio

La figura 10.1 nos muestra la cadena completa de un sistema de grabación o de transmisión digitales. En primer lugar la señal analógica de audio (voltaje variando con el tiempo) atra-

viesa un conversor analógico/digital (A/D), donde las variaciones continuas de voltaje se transforman en series de «muestras», que son una especie de «fotografías» de la señal analógica, tomadas varios miles de veces por segundo. Cada muestra se representa por un número (ver sección 10.3). Para que puedan ser grabadas o transmitidas correctamente, las series de muestras deben ser previamente codificadas (ver sección 10.3.3) mediante un proceso conocido como codificación de canal. Al reproducir o recibir la señal, ésta se descodifica y se somete a una corrección de errores. Con este proceso se trata de eliminar cualquier daño que pueda haber sufrido la señal desde que fue codificada. Se corrigen así mismo los errores de la base de tiempos o de nivel de las muestras, y el resultado se lleva a continuación al conversor digital/analógico (D/A), que convierte los datos numéricos de nuevo en señal analógica con variaciones continuas en el tiempo.

Se explicarán a continuación cada uno de los principales procesos que tienen lugar en esta cadena, viendo acto seguido la forma en que se aplica esta tecnología en los sistemas de audio reales. En este capítulo se describen únicamente los principios básicos, puesto que la mayor parte de la teoría del audio digital está por encima del nivel que se pretende con este texto.

10.3 Principios básicos

10.3.1 Muestreo y análisis en el dominio del tiempo

El proceso que tiene lugar en un conversor A/D conlleva la toma de niveles, o «muestreo», de la amplitud de la señal de audio a intervalos regulares en el tiempo (ver figura 10.2). En esta figura se ve claramente que el voltaje eléctrico que representa el sonido puede ser tanto positivo como negativo a lo largo del tiempo, y que los pulsos de muestra representan la amplitud instantánea de la señal en cada momento. Las muestras pueden ser consideradas como «imágenes estáticas» de la señal de audio. Cuando pasan una tras otra dibujan una representación continua de la onda, de la misma forma que una película de cine ofrece una sensación de movimiento al reproducir rápidamente su serie de fotogramas.

Para poder representar la señal con detalle es necesario tomar una gran cantidad de muestras por segundo. El teorema de muestreo, propuesto por Shannon, indica que deben tomarse

Figura 10.1 Diagrama de bloques de una cadena de grabación o transmisión digitales.

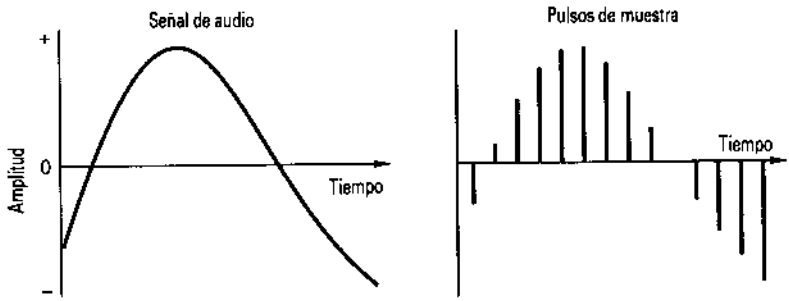


Figura 10.2 Durante el proceso de muestreo las amplitudes de los pulsos se ven modificadas por la amplitud instantánea de la señal de audio.

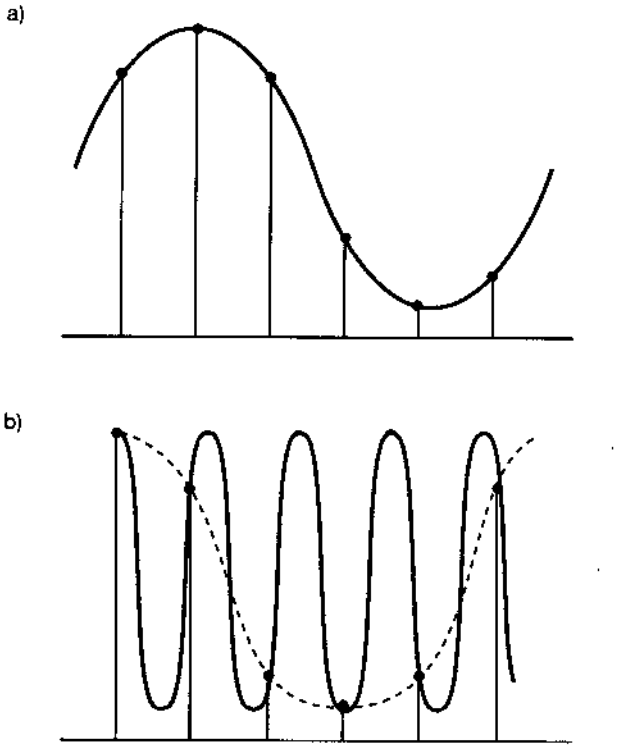


Figura 10.3 En el ejemplo (a) se han tomado varias muestras por cada ciclo de la onda. En (b) se han tomado menos de dos muestras por ciclo. Al reconstruir a partir de estas muestras se obtendrá una onda completamente diferente a la original. Esta es una forma de analizar el problema del «aliasing».

al menos dos muestras por cada período de la señal de audio si se quiere tener una información suficiente de la misma. En la figura 10.3 podemos ver que si se toman menos de dos muestras por ciclo, en la reconstrucción puede resultar una señal completamente diferente a la original; este fenómeno se conoce como «aliasing». Otra forma de analizar este problema es viendo la señal muestreada en el dominio de la frecuencia (ver sección 1.4), pero este es un concepto algo más avanzado, que se explica en la Ficha Temática 10.1.

El fenómeno de «aliasing» puede apreciarse también mediante un efecto de sobra conocido en cine, puesto que una cinta de cine es también un ejemplo de señal muestreada. En cine se toman normalmente 24 fotogramas (imágenes fijas) por segundo. Supongamos que filmamos una rueda que está girando, y sobre la que se ha hecho una marca en un punto de su contorno. Pues bien, mientras la velocidad de rotación de la rueda sea mucho menor que la del número de fotogramas que de ella se toman por segundo, dará la impresión de que la rueda avanza. Si vamos aumentando progresivamente la velocidad de rotación de la rueda, parecerá que ésta gira cada vez más lentamente, se para y comienza a girar en sentido contrario. El efecto visual de estar girando hacia atrás se hace más rápido conforme aumenta la velocidad de rotación; este movimiento aparente es el resultado del efecto «aliasing» debido a la toma de muestras (fotogramas) a velocidad demasiado baja.

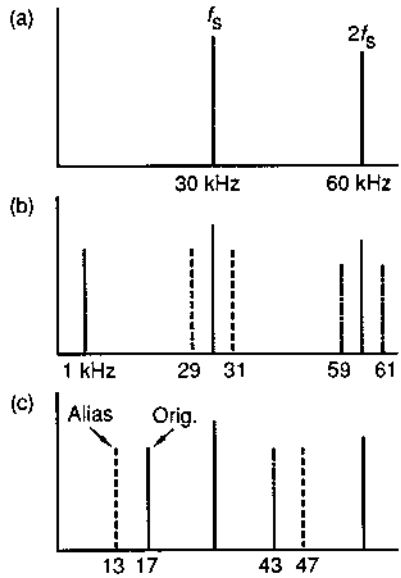
FICHA TEMÁTICA

10.1 En el dominio de la frecuencia de muestreo

El proceso de muestreo puede ser considerado como un proceso de *modulación*, en el cual se emplea la señal de audio analógica para modular en amplitud un tren de pulsos de amplitud constante: esto es, la amplitud o «altura» de los pulsos se hace variar de acuerdo con la amplitud instantánea de la señal de audio (ver figura 10.2). Esto se conoce como *modulación de amplitud de pulsos*, o PAM.

La figura muestra el espectro de frecuencias que resulta de este proceso de modulación: (a) Los pulsos de muestreo sin modular constituyen una serie de componentes armónicas situados a múltiplos enteros de la frecuencia de muestreo, f_s (en este caso f_s = 30 kHz, y se ha representado uno sólo de los armónicos). (b) Cuando se muestrea una señal senoidal de 1 kHz con una frecuencia de muestreo de 30 kHz, aparecen componentes espectrales separados 1 kHz a ambos lados de f_s y de sus múltiplos. (c) Si se muestrea un tono de 17 kHz con la misma frecuencia de muestreo resultan unas componentes espectrales de 30-17 = 13 kHz y 30+17 = 47 kHz. Se dice que la señal de 17 kHz sufre «aliasing» (solapamiento de espectros) por parte de la de 13 kHz, puesto que esta última aparece dentro de la banda base de audio y será audible. Esto demuestra el problema que supone el tener componentes de la banda base por encima de la frecuencia de Nyquist (el término *banda base* se refiere al espectro de la señal de audio original).

El efecto «aliasing» puede evitarse haciendo pasar la señal en banda base a través de un filtro que elimine las componentes que estén por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo.



Si en una grabación digital de audio no se evita el «aliasing», se apreciará un efecto audible equivalente al aparente giro inverso de la rueda: algunas componentes del espectro de audio que no existían en un principio se «desplazan» hacia atrás a medida que aumenta la frecuencia de la señal original.

La velocidad con la que se toman las muestras se conoce como *frecuencia de muestreo* y está directamente relacionada con la respuesta en frecuencia del sistema, puesto que sólo las frecuencias inferiores a la mitad de la frecuencia de muestreo pueden ser procesadas sin «aliasing». Por tanto, para poder tratar señales de audio de hasta 20 kHz (el límite de señales audibles) es necesario utilizar una frecuencia de muestreo de, al menos, 40 kHz. En la mayoría de los conversores A/D se utiliza, antes del muestreo, un *filtro «antialiasing»* (figura 10.4), cuya función es eliminar cualquier componente de frecuencia que esté por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo (o *frecuencia de Nyquist*). En la práctica todos los sistemas de audio (como el Disco Compacto, CD) utilizan una frecuencia de muestreo ligeramente superior a la mínima teórica, y se ha fijado en 44'1 kHz. Esto permite que los filtros no deban tener una pendiente de corte muy abrupta por encima de la frecuencia de Nyquist, lo que redunda, a su vez, en una mejor calidad de audio: se evita que los filtros produzcan un efecto de «campanilleo» y que afecten a las frecuencias altas.

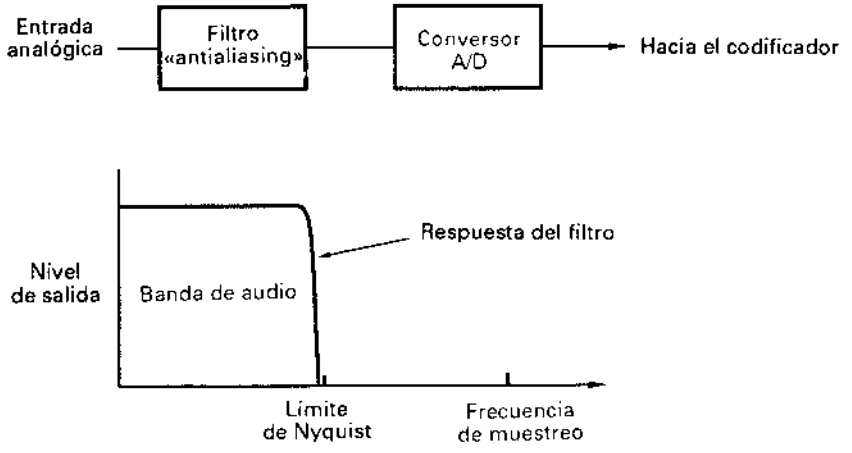


Figura 10.4 En los conversores A/D sencillos se emplea un filtro «antialiasing» antes de la conversión. Este filtro elimina las señales de entrada cuya frecuencia esté por encima del límite de la frecuencia de Nyquist.

En algunos sistemas profesionales se ha fijado una frecuencia de muestreo mayor que la del CD (48 kHz, por ejemplo), en base a varios criterios de operación, cuya explicación no procede incluir en este texto. Muchos consideran que esto ha sido un error, debido a las mejoras conseguidas en el proceso de conversión y de filtrado digital. En algunos sistemas de radiodifusión y televisión –como es el caso del NICAM 728 para transmisión de sonido digital estéreo de TV– la frecuencia de muestreo es 32 kHz, lo que limita la respuesta del sistema a 15 kHz, aproximadamente.

10.3.2 Cuantificación

Una vez muestreada la señal, debe convertirse en series de números, mediante un proceso conocido como *cuantificación*. El resultado del muestreo es un tren de pulsos de amplitud variable; la cuantificación consiste en asignar un valor numérico a cada uno de los pulsos, de acuerdo con su amplitud. Es como si se midiera la altura de cada uno de ellos, ya estén por encima o por debajo de la línea de 0 voltios (ver figura 10.5). El proceso de cuantificación implica asignar a cada muestra un valor de entre un conjunto de escalones prefijados. En la figura 10.5 se ha empleado, a modo de ejemplo, una escala de 1 a 10, tanto para valores positivos como para negativos. Cada muestra debe quedar representada por uno de estos valores enteros. No se permiten valores fraccionarios o intermedios, por lo que durante la cuantificación cada muestra se redondea al entero más próximo. El resultado es una secuencia de números como la que se indica en la figura.

Podemos ver claramente que hay diferencias entre la amplitud original de la muestra y su correspondiente representación numérica; esta diferencia se conoce como *error de cuantificación*. Como pude apreciarse, el valor máximo del error de cuantificación es más/menos la mitad del escalón de cuantificación, puesto que cuando la amplitud de la muestra supera medio escalón de cuantificación por encima de uno determinado, se le asigna el valor correspondiente al intervalo inmediato siguiente. Cuantas más cifras se utilicen en la escala vertical menor será el posible error de cuantificación, puesto que los escalones de cuantificación serán también menores (ver figura 10.6).

En audio digital el sistema de numeración empleado es el *binario*, en lugar del decimal. Esto ofrece muchas ventajas puesto que permite representar los números utilizando tan solo

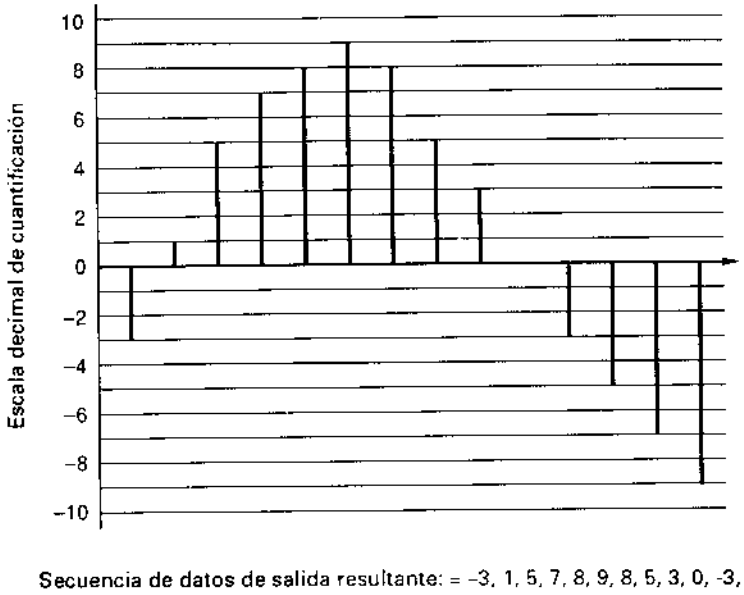


Figura 10.5 Los pulsos correspondientes a cada muestra deben ser cuantificados con el fin de asignarles valores numéricos (aquí se representan con una escala decimal). A cada muestra se le asigna el nivel de cuantificación más próximo a su valor real.

dos estados (encendido/apagado, alto/bajo, verdadero/falso, con voltaje/sin voltaje, etc.), de forma que puede grabarse una información de audio como si se tratase de datos de ordenador. En un sistema decimal cada dígito representa una potencia de diez, mientras que en uno binario cada dígito representa una potencia de dos. Como solamente se dispone de dos estados «cero» o «uno» se necesitan muchos dígitos para representar valores grandes mediante un sistema binario (ver figura 10.7). Cada dígito binario se conoce como *bit* «***bi***nary digi***t***».

Mediante una palabra o número binario de 4 bits se pueden representar $2^4 = 16$ valores diferentes. En la figura 10.8 se muestra un ejemplo de escala de cuantificación que utiliza cifras de 4 bits, en lugar de valores decimales. En este caso se han elegido los números para que el cero corresponda al nivel de tensión más negativo, sin embargo, puede ser más interesante asignar el valor binario «0000» a 0 voltios (según se explica en la Ficha Temática 10.2).

Una cuantificación de tan solo 4 bits deja bastante que desear, puesto que sus 16 intervalos conllevan un error de cuantificación bastante grande. Un sistema así produciría un sonido con mucha distorsión, ya que el nivel del error comparado con el de la señal de audio sería considerable. ¿Qué efecto produce el error que resulta de la cuantificación? En realidad es una forma de distorsión, puesto que llega a modificar ligeramente la forma de la señal de audio, dependiendo, claro está, de la magnitud del error. La señal de error resultante se denomina *error de cuantificación* o *distorsión de cuantificación* y, teniendo en cuenta que la señal de audio cuantificada tiene un nivel bastante alto y puede considerarse semialeatoria (como la mayoría de las señales reales), el error se manifiesta como un ruido de bajo nivel. Para dar una naturaleza aleatoria al efecto que produce este error se añade intencionadamente un ruido de nivel bajo a la señal de audio, antes de la conversión; a este ruido se le conoce por «*dither*».

El margen dinámico de un sistema de audio digital se ve limitado en su extremo superior por el máximo valor que puede alcanzar la escala del conversor. A partir de este punto la señal quedará recortada (ver figura 10.9) y sufrirá mucha distorsión. Este punto se fija normalmente

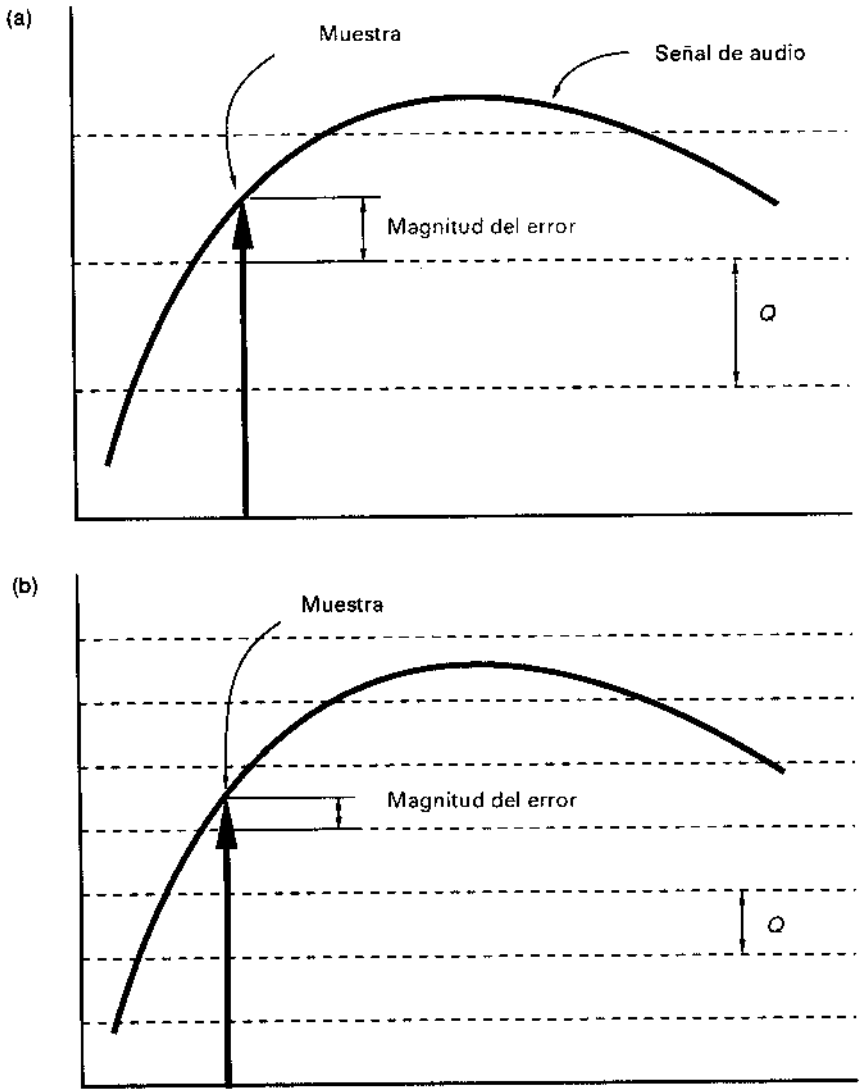


Figura 10.6 El error máximo en la cuantificación es la mitad del escalón de cuantificación (Q). En (a) el error es grande puesto que hay pocos intervalos de cuantificación. En (b) se ha aumentado el número de escalones y el error disminuye.

para un determinado voltaje de entrada, que en algunos equipos es +24 dBu. Para niveles bajos de señal el margen dinámico queda limitado por el error de cuantificación.

El Disco Compacto emplea 16 bits por muestra, lo que permite $2^{16} = 65\,536$ intervalos de cuantificación posibles, que logran una representación bastante precisa de la señal original. Algunos sistemas profesionales de más reciente aparición han llegado incluso a 20 bits, con el resultado lógico de una fidelidad mayor. El margen dinámico de un sistema PCM lineal se

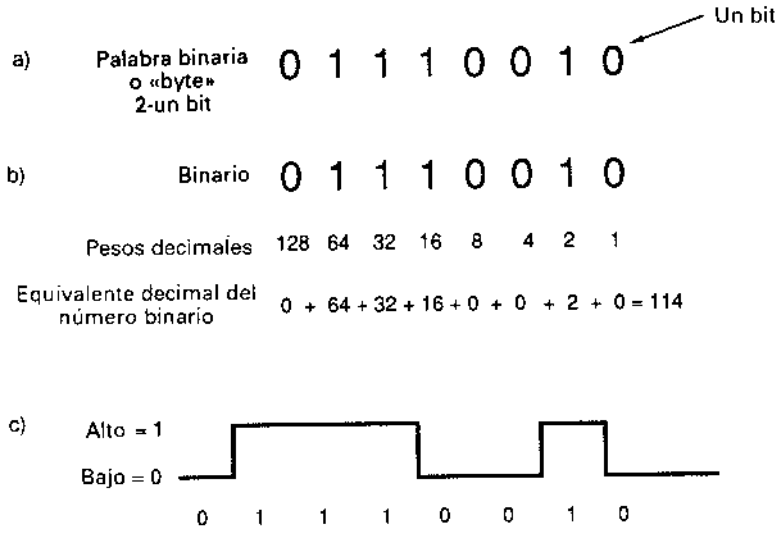


Figura 10.7 (a) Una cifra binaria (conocida como palabra o «byte») está formada por un número de bits. (b) Cada bit representa una potencia de dos. (c) En modulación de pulsos codificados (PCM) los números binarios se representan eléctricamente mediante una serie de niveles de tensión altos y bajos.

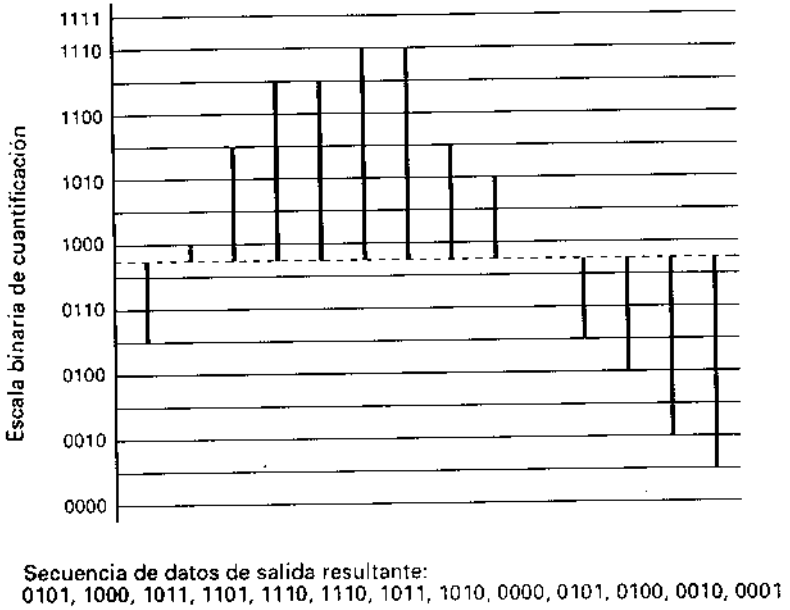


Figura 10.8 Escala binaria de cuantificación con 4 bits.

FICHA TEMÁTICA

10.2 Representación de valores negativos

Cuando una muestra tiene un valor negativo (los que están por debajo de la línea de 0 voltios en la figura 10.8) éste debe indicarse como tal, puesto que en un sistema de audio digital es necesario realizar una serie de operaciones matemáticas con los datos numéricos para conseguir, por ejemplo, sumar dos señales. Para este propósito se emplea normalmente un sistema de numeración conocido como *complemento a dos*, que representa los números negativos fijando el bit de la izquierda en «1» lógico. Al bit de la izquierda se le denomina *bit más significativo*, o MSB, puesto que representa la mayor de las potencias de dos –tiene el mayor peso–; para valores positivos el MSB es un «0» lógico.

Los valores negativos se obtienen a partir de su equivalente positivo, invirtiendo todos los bits y sumando «1» (esto es el complemento a dos). Así por ejemplo, para obtener el valor binario equivalente en complemento a dos del número decimal menos cinco (-5_{10}) se procede de la siguiente manera:

$5_{10} = 0101_2$

$-5_{10} = 1010 + 0001 = \mathbf{1011}_2$

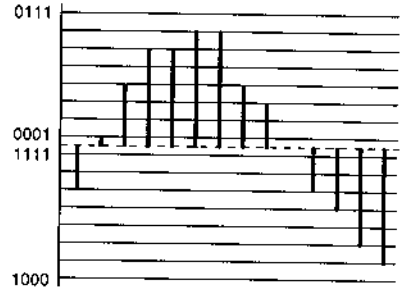
Los números en complemento a dos tienen la ventaja de que el MSB representa el signo (1=negativo, 0=positivo), y de que pueden llevarse a cabo operaciones aritméticas con resultados correctos. Ejemplo:

(en decimal): $5 + (-3) = 2$

o (en binario): $0101 + 1101 = 0010$

Se ignora el bit de acarreo resultante de la suma de los dos MSB.

En la siguiente figura se representa un ejemplo de escala de cuantificación que utiliza 4 bits con complemento a dos. Puede observarse que el código binario pasa de valer «todo ceros» a «todo unos» por el simple hecho de atravesar la línea de 0 voltios. El máximo valor positivo está representado por 0111 y el máximo negativo por 1000; el resto de los valores se sitúan entre estos límites.



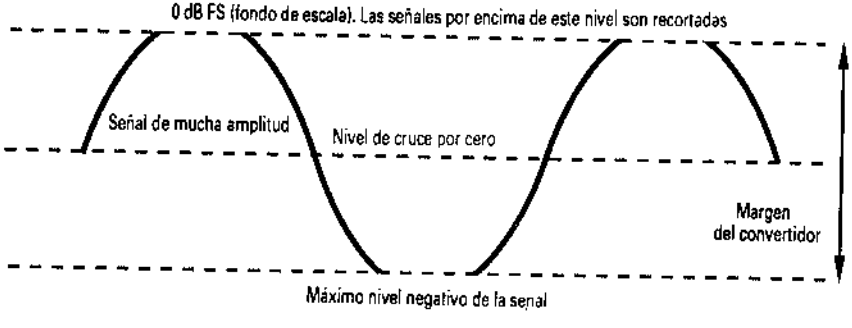


Figura 10.9 Las señales que sobrepasan el nivel de pico en un sistema digital son recortadas, puesto que no se dispone de más dígitos para representar valores de muestra por encima de ese nivel.

FICHA TEMÁTICA **10.3**

Sobremuestreo

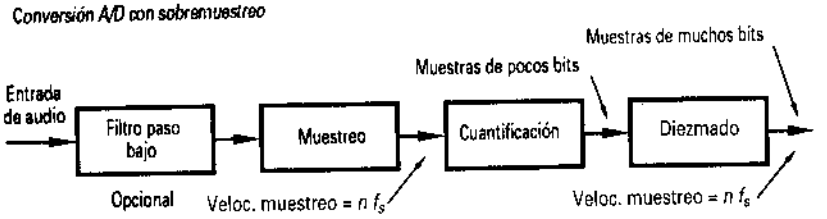
Mediante el sobremuestreo el espectro de potencia del ruido de cuantificación se esparce a lo largo de un amplio margen de frecuencias, puesto que en los conversores que utilizan esta técnica la frecuencia de Nyquist queda muy por encima de la máxima frecuencia de la banda de audio. El efecto que esto produce es la reducción del ruido propio de la banda del orden de 3 dB por octava de sobremuestreo (Ejemplo: un sistema con sobremuestreo al doble de la frecuencia nominal de 48 kHz –o sea, 96 kHz– vería reducido en 3 dB la potencia de ruido dentro de la banda de audio). Esto *no* se logra simplemente incrementando la frecuencia de muestreo, ya que este hecho, por sí mismo, no reduciría el ruido. Mediante la *conformación de ruido* («noise shaping») –proceso mediante el cual se desplaza el ruido desde el espectro de audio hacia frecuencias donde resulta menos audible– se consigue reducir aún más el ruido de cuantificación.

Los conversores que utilizan sobremuestreo constituyen la clave para mejorar la calidad del sonido de un sistema, tanto en la conversión A/D como D/A. Empleando sobremuestreo se evita la necesidad de disponer de filtros analógicos con pendientes de corte muy pronunciadas; de esto, a su vez, resulta una conversión más lineal. La mayoría de los equipos actuales utilizan conversores con uno u otro tipo de sobremuestreo. Aunque los conversores A/D trabajan a menudo con frecuencias de muestreo muy elevadas, de hasta 128 veces la frecuencia nominal de 48 kHz (lo que equivale a una f_s de unos 6 MHz), la frecuencia real que se tiene a la salida del conversor es la normal de 48 kHz, puesto que las muestras tomadas a muy alta velocidad se codifican con una resolución de unos pocos bits, y están sujetas a continuación a un proceso de «diezmado». Este proceso implica reducir la velocidad de muestreo, eliminando algunas muestras de entre todas las obtenidas. Acto seguido deben atravesar un filtro digital para evitar que se produzca «aliasing».

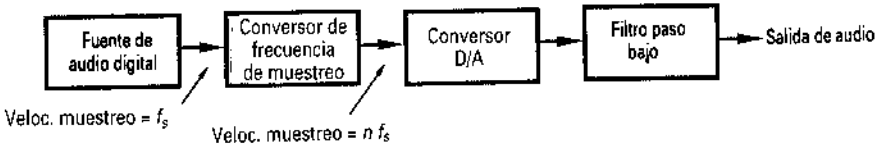
El resultado de todo este tratamiento es una señal de audio digital de 18 ó 20 bits de resolución (por ejemplo), con una frecuencia de muestreo nominal de 48 ó 44'1 kHz (o cualquier otra definida mediante la señal de reloj). El hecho de tomar muestras a una velocidad inicial tan alta, evita tener que utilizar filtros «antialiasing» con pendientes pronunciadas; de hecho la mayoría de estos conversores no emplean ni un solo filtro analógico, eliminando el «aliasing» mediante filtros digitales dentro del proceso de diezmado. El proceso completo puede verse en la figura adjunta.

En el caso de los conversores D/A con sobremuestreo, las muestras se adquieren a partir de la fuente digital, que trabaja en una de las frecuencias nominales (48 ó 44'1 kHz, por ejemplo). A continuación se hace una conversión de frecuencia de muestreo y se obtiene una nueva secuencia de muestras con la velocidad del sobremuestreo original. Estas muestras atraviesan el conversor digital/analógico y, puesto que éste trabaja en sobremuestreo, se evita de nuevo aquí el uso de filtros con pendiente pronunciada. Junto con este paso suele hacerse una conformación de ruido.

Conversión A/D con sobremuestreo



Conversión D/A con sobremuestreo



incrementa, aproximadamente, 6 dB por cada bit que se añade al cuantificador. Así pues, un sistema de 16 bits es capaz, teóricamente, de ofrecer un margen dinámico de 96 dB. Desgraciadamente, en la práctica las cuentas no salen de manera tan sencilla, puesto que muchos sistemas son capaces de reproducir señales cuyo nivel está por debajo del límite teórico. Esto se logra, en parte, gracias a una modulación de la señal «dither» y al uso de conversores con sobremuestreo (ver Ficha Temática 10.3) que utilizan técnicas de conformación de ruido «noise shaping», y que no obedecen a las leyes simples de un sistema PCM lineal. Además, muchos conversores denominados de 16 bits no son exactamente conversores lineales de 16 bits, y el ruido de fondo que entregan puede ser mayor de lo que se prevé en teoría.

La salida cuantificada de un conversor A/D se entrega normalmente mediante un conjunto de cables, uno por cada bit de la palabra binaria que representa a la señal de audio; según esto, un conversor de 16 bits tendría 16 salidas individuales simultaneas. Cuando cada bit de datos se transmite por un cable independiente se dice que los datos están en formato *paralelo*. Si, por el contrario, se transmiten por un único canal, un bit tras otro, se dice que los datos están en formato *serie*.

10.3.3 Principios de la codificación de canal

Los datos binarios obtenidos en el proceso de cuantificación no son aptos para ser grabados directamente en cinta. Para adaptar los datos a las características propias del sistema de grabación se emplea un «código de canal», que logra un buen aprovechamiento del espacio en grabación y hace que los datos puedan recuperarse después más fácilmente. Existe una gran variedad de códigos de canal, cada uno con unas características específicas, según su aplicación. Su misión es siempre transformar una sucesión de datos binarios en una serie de transiciones que se envían hacia el medio de grabación o de transmisión. Se trata, de alguna manera, de un tipo de modulación. Así, si nos fijamos en las «marcas» grabadas en la superficie de un CD, veremos que no tienen mucho parecido con los datos de audio originales; lo mismo ocurre con las transiciones de flujo que se graban en una cinta DAT. Con ayuda de una tabla de conversión de código podríamos descifrar el significado de cada uno de esos patrones y obtener los datos originales.

La mayoría de los códigos de canal se diseñan para que tengan un bajo contenido de CC (en otras palabras, los datos se codifican para que, por término medio, haya el mismo número de ceros que de unos). Este es el caso de las señales que deben ser acopladas mediante transformadores (ver sección 13.1). En otros casos conviene que los códigos tengan un ancho de banda determinado, o que tengan limitado su contenido de altas frecuencias. Exis-

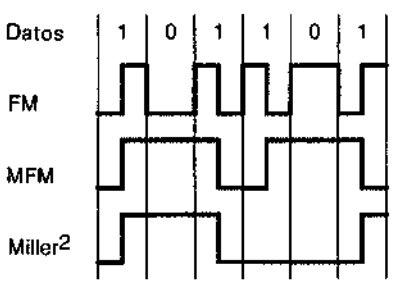
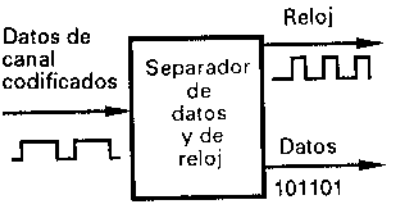


Figura 10.10 Tres ejemplos de códigos de canal utilizados en grabación digital. Miller² es el más eficiente de los tres, puesto que utiliza un menor número de transiciones para una secuencia de datos determinada.

FICHA TEMÁTICA **10.4**

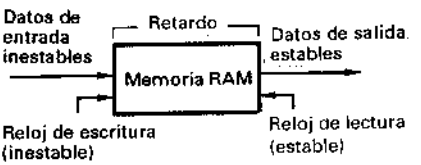
Recuperación de los datos grabados

Durante la reproducción se deben descodificar todos los datos grabados, pero antes hay que separar la información de reloj de los propios datos de audio, pues ambos fueron grabados de forma conjunta. Este proceso se conoce como separación de datos y sincronismo (ver figura).

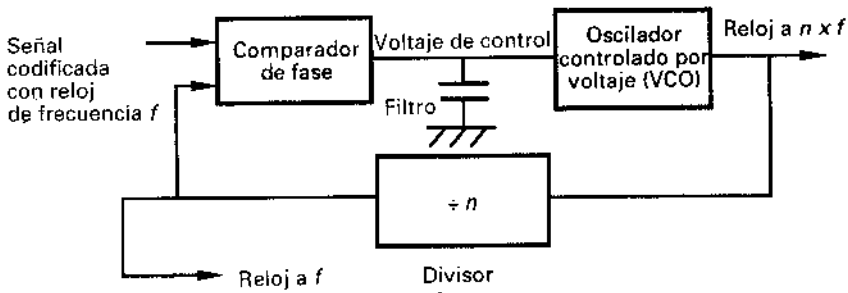


Para regenerar la señal de reloj a partir de los datos leídos suele emplearse un bucle de fase (PLL), como el que se representa en el último esquema de esta ficha. Está basado en un oscilador controlado por tensión (VCO) que funciona a una frecuencia múltiplo (x *n*) de la del reloj que se ha recuperado de la cinta. La salida del VCO se lleva a un divisor por *n* y la salida de éste se compara con la señal de reloj de la cinta, mediante un comparador de fases. A la salida de este comparador se tiene un voltaje proporcional a la diferencia que existe entre ambas señales; este voltaje controla, a su vez, la frecuencia del VCO. Gracias a su flexibilidad, este oscilador enganchado en fase es capaz de tolerar ligeras irregularidades en la señal de reloj que se recupera de la cinta.

Como muchos códigos de canal pueden tener largos periodos de unos o ceros seguidos, durante la grabación los datos se esparcen con unos determinados patrones de sincronismo. De esta forma, el PLL del circuito separador tendrá una referencia mínima, que le permitirá generar la señal de reloj aunque ésta no acompañe a la señal de audio codificada. Los datos y el reloj leídos de la cinta pueden tener irregularidades en la base de tiempos –lo que en los reproductores analógicos se manifiesta como «wow» y «flutter» (ver sección A1.6); en audio digital se conoce como «jitter» –. Esto no supone, sin embargo, un problema en los sistemas digitales, puesto que



puede evitarse perfectamente: los datos (leídos de una cinta o un disco, por ejemplo) se graban temporalmente en una memoria de estado sólido (RAM). Una fracción de segundo después se leen con una cadencia fija, controlada por un reloj de cristal (ver figura siguiente). Este reloj se caracteriza por mantener una frecuencia extremadamente estable. Suponiendo que, por término medio, los datos entran a la memoria a la misma velocidad con la que salen, y si ésta tiene la suficiente capacidad como para absorber las inestabilidades en la base de tiempos, la memoria, o «buffer», no llegará a llenarse nunca.



ten, por otro lado, códigos pensados específicamente para sistemas de grabación de muy alta densidad, o bien con un bajo contenido de reloj y con la posibilidad de que haya períodos largos sin transiciones de un nivel lógico a otro. La codificación de canal significa estructurar los datos que van a ser grabados incorporando al mismo tiempo una señal de reloj, de manera que haya suficiente información de reloj como para que al reproducir pue-

dan recuperarse tanto los datos como el sincronismo. Los códigos de canal difieren entre sí en cuanto a su robusted y en la forma en que afectan a la distorsión, al ruido o a los errores de sincronismo.

En la figura 10.10 se recogen algunos ejemplos de códigos de canal utilizados en sistemas de audio. El más sencillo es el código FM, un ejemplo de modulación de frecuencia por una señal binaria. Es uno de los códigos Manchester, conocido también como marca bifase «bi-phase mark»; es la modulación empleada para el código de tiempo SMPTE/EBU (ver Capítulo 16). Los códigos MFM y Miller^2 son más eficientes que el FM en cuanto a densidad de grabación. MFM es más eficiente porque elimina las transiciones entre varios unos seguidos, conservando solamente las transiciones en el caso de varios ceros. Miller^2 elimina el contenido de CC presente en el código MFM, y lo logra suprimiendo la transición para el último uno cuando hay un número par de unos seguidos.

Los códigos de grupo, como el que se emplea en el Disco Compacto y en R-DAT, transforman los patrones de bits de los datos originales en nuevos códigos con mejores prestaciones. Para ello hacen uso de una «tabla de transferencia» que recoge todas las posibles combinaciones de datos que dan lugar a los nuevos datos codificados. Esto tiene un cierto paralelismo con los códigos que se emplean en operaciones de espionaje, donde es necesario disponer de un «libro de claves» para descifrar el mensaje original codificado. El CD utiliza la modulación 8/14, en la cual cada palabra original de 16 bits se divide en dos palabras de 8 bits. A continuación se emplea una tabla de transferencia para generar una nueva palabra código de 14 bits por cada una de las 256 posibles combinaciones de 8 bits. Puesto que se pueden formar muchas más palabras con 14 bits que con 8, podemos elegir cuidadosamente cuáles de las 16384 palabras son más apropiadas para las características que se pretenden en la grabación del CD. En este caso se eligen aquellas que tienen no más de once bits consecutivos iguales y no menos de tres. Esto limita el ancho de banda de los datos grabados y se adapta perfectamente a las características del proceso de lectura óptica, al mismo tiempo que conserva la necesaria información de reloj.

El proceso mediante el cual se recuperan los datos a partir de la información grabada se describe de forma somera en la Ficha Temática 10.4.

10.3.4 Corrección de errores

Existen dos etapas fundamentales dentro del proceso de corrección errores en audio digital. En primer lugar, el error debe ser detectado, y a continuación deber ser corregido; si no puede corregirse deberá ocultarse. Para que un error pueda ser detectado es necesario diseñar una serie de mecanismos de protección.

Existen dos tipos principales de error: errores de ráfaga y errores aleatorios. Los errores de ráfaga producen la pérdida de varias muestras sucesivas. Se deben a veces a una ausencia temporal de la señal «drop-out», como la que puede ocurrir en una cinta; otras veces son consecuencia de una interferencia producida por un pico de tensión, o por la suciedad en la superficie de un CD, por ejemplo. La capacidad de corrección de errores de ráfaga se especifica normalmente como el número de muestras consecutivas que pueden llegar a corregirse por completo. Los errores aleatorios producen, por su parte, la pérdida de muestras aisladas y suelen ser consecuencia del ruido o de una baja calidad de la señal. El índice de errores aleatorios se indica normalmente como una tasa media (1 por cada 10^6, por ejemplo). Un sistema de corrección de errores debe ser capaz de enfrentarse tanto a errores de ráfaga como aleatorios, que, además, pueden aparecer muy próximos entre sí.

Antes de la grabación, los datos de audio se someten normalmente a un proceso de intercalado, lo que significa que se altera el orden de las muestras, según el principio que se expli-

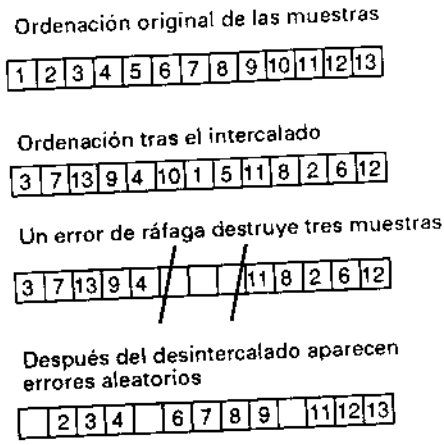


Figura 10.11 En los sistemas de grabación y transmisión digital se emplea el intercalado, que reordena de una forma determinada las muestras originales. Tras el desintercalado, se consigue convertir los errores de ráfaga en errores aleatorios aislados.

ca en la figura 10.11. Las muestras que en tiempo real eran adyacentes se esparcen ahora a lo largo de la cinta. Lo que se consigue con esto es que un posible error de ráfaga que destruya una serie de muestras consecutivas, se transforma, tras el desintercalado, en una serie de errores aislados en medio de muestras «sanas»; a partir de aquí, estos errores pueden ocultarse fácilmente. Un proceso común, asociado al intercalado, consiste en separar mediante un retardo las muestras pares e impares. Cuanto mayor sea el retardo que introduce el intercalado, mayor será también la ráfaga de error que admita el sistema. Un ejemplo de este tipo de tratamiento contra errores es el que se utiliza en el formato DASH (formato digital de grabación en cinta abierta): las muestras impares están retardadas 2448 muestras con respecto a las pares, al mismo tiempo que se reordenan entre sí en grupos de muestras impares y pares.

Antes de la grabación se añaden también una serie de datos redundantes. La redundancia, en pocas palabras, implica grabar un mismo dato en más de un lugar o en formas diferentes. Un ejemplo sencillo de lo que supone el uso de redundancia lo tenemos en el caso del formato «twin-DASH», en el que todos los datos se graban por duplicado. Sobre un segundo par de pistas (que contienen los datos duplicados) la secuencia de datos impares/pares se transforma en pares/impares. Con esto se consiguen dos objetivos: en primer lugar supone una doble protección contra errores; y en segundo lugar es capaz de corregirlos cuando se empalma la cinta, pues en este caso se producen dos ráfagas de error, una por cada conjunto de pistas; como se dispone dos grupos de pistas, de uno de ellos se pueden obtener los datos impares no dañados y del otro los datos pares, con lo que se evita tener que interpolar (ver Ficha Temática 10.5).

Los códigos de verificación de redundancia cíclica (CRC), formados a partir de los datos originales y grabados junto con ellos, se utilizan en muchos sistemas para detectar en reproducción la presencia de errores , así como su situación exacta. Se logra corregir perfectamente, hasta un cierto límite, tanto errores de ráfaga como errores aleatorios, haciendo uso de complejos procedimientos matemáticos para formar las palabras código a partir de los datos originales. Otro sistema potente de protección contra errores es el código Reed-Solomon, utilizado en varios sistemas digitales; queda más allá del objetivo de este libro estudiar con detalle este tipo de códigos.

En la Ficha Temática 10.5 se describen los distintos métodos de tratamiento de los errores en reproducción, una vez que han sido detectados.

FICHA TEMÁTICA **10.5**

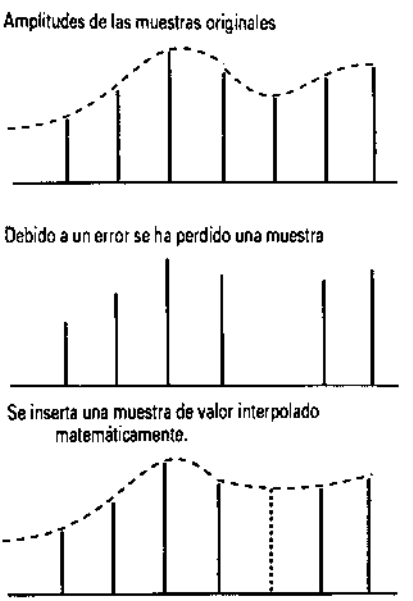
Tratamiento de los errores

Corrección completa

Un sistema de corrección de errores es capaz de reconstruir perfectamente las muestras dañadas, siempre que no se sobrepase una cierta longitud de errores de ráfaga o una determinada tasa de errores aleatorios. Las muestras corregidas no se distinguen de las originales y la calidad del sonido no resulta afectada en absoluto. Este tipo de errores suelen avisarse en los aparatos mediante pilotos de color verde que indican fallo de «CRC» o fallo de «Paridad».

Interpolación

Cuando el número de errores excede la capacidad de corrección del sistema, se hace uso del proceso de interpolación, que consiste en obtener la amplitud de las muestras perdidas a partir de la amplitud de las muestras adyacentes (ver figura). El valor interpolado es la media matemática entre las muestras anteriores y posteriores a la que no se conoce; este valor calculado puede ser correcto o no. A este proceso se le conoce también con el nombre de ocultación o promediado, y el efecto audible no resulta desagradable, aunque puede suponer una reducción temporal del ancho de banda. La interpolación suele indicarse en los equipos digitales mediante un piloto de color naranja, que advierte que la situación de error es bastante seria. En la mayoría de los casos el proceso de ocultación es muy breve, pero debe tenerse precaución cuando aparecen muchas ocultaciones seguidas, puesto que la calidad del sonido puede verse afectada. La causa de esto suele estar en cabezas sucias o en desajustes en el transporte; deben tomarse medidas para evitar estos defectos (ver texto).



Retención de la muestra anterior

En casos extremos, en los que resulta imposible incluso la interpolación (cuando las muestras anteriores y posteriores a una defectuosa también son defectuosas), puede hacerse una «retención», o sea, una repetición del valor de la última muestra correcta. El efecto audible puede no apreciarse en algunos casos, pero se trata ya de una situación de fallo grave. La mayoría de los sistemas hacen retención de solo unas pocas muestras antes de anular la salida. La situación de retención de muestras suele estar indicada mediante una luz roja.

Anulación de la salida «mute»

Cuando se ha desbordado completamente la capacidad de corrección de errores de un sistema, se suele anular la salida del mismo. En muchos casos el usuario puede variar la duración de la salida nula. La alternativa a esta anulación sería oír la señal de salida independientemente de todos los errores que pudiera tener. El efecto audible dependerá de la magnitud del error, y puede ir desde un ligero «clic» hasta un sonido completamente «roto». En algunos es preferible anular la salida a escuchar este tipo de efectos desagradables.

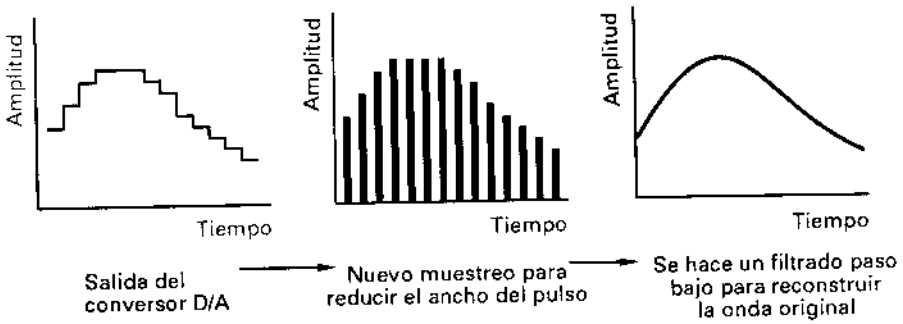


Figura 10.12 Proceso simple de conversión D/A.

10.3.5 Conversión D/A

El proceso de conversión D/A se representa esquemáticamente en la figura 10.12. Las palabras que representan a las muestras de audio se convierten de nuevo en una serie de niveles eléctricos en forma de escalera, cada uno de los cuales corresponde al valor de una muestra. Esto puede lograrse de varias formas. En los conversores más simples se utilizan los estados de los bits para conectar o desconectar fuentes de corriente, de forma que la amplitud del pulso final es el resultado de la combinación de las salidas de cada una de esas fuentes. En otros conversores, por el contrario, se emplea un contador binario para contar desde la cifra binaria que representa a la muestra hasta cero; durante ese mismo tiempo se está generando una rampa de voltaje, que vuelve a ser muestreada en unos determinados instantes. Este nuevo muestreo reduce el ancho de los pulsos antes de que estos atraviesen un filtro paso bajo de reconstrucción, cuya frecuencia de corte es igual a la mitad de la frecuencia de muestreo. Si no se hiciese este muestreo a la salida del conversor D/A, el efecto de promediado del filtro paso bajo se convertiría en una reducción en la amplitud de las frecuencias altas de audio (debido al denominado «efecto apertura»). Esto se evita limitando el ancho de los pulsos de este muestreo, por ejemplo a 1/8 del período de muestreo original. Para corregir el efecto apertura es necesaria una ecualización adicional.

10.4 Principios básicos de la grabación digital en cinta

Las altas tasas de datos necesarias para una grabación digital obligan a utilizar anchos de banda del orden de varios megahercios (un único canal de audio digital precisa una velocidad de datos de 0'75 megabits por segundo, aproximadamente). Los magnetófonos existentes hasta la aparición del audio digital no admitían directamente información digital –en lugar de la analógica– puesto que los circuitos y las cabezas de grabación estaban diseñadas para trabajar con frecuencias no superiores a los 50 kHz. La grabación de video, sin embargo, necesita anchos de banda mucho mayores y grandes densidades de grabación para poder representar imágenes con una buena calidad. Así pues, cuando comenzaron a desarrollarse las técnicas PCM para grabación de sonido, se pensó en los grabadores de video (VTR) como dispositivos de almacenamiento digital. Mediante adaptadores PCM se convertían los datos de audio

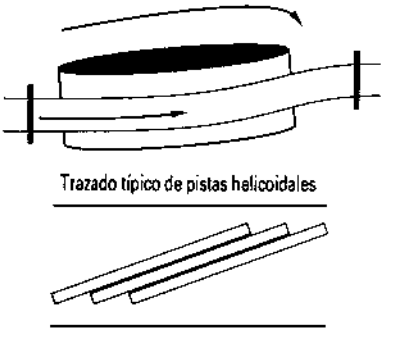
FICHA TEMÁTICA **10.6**

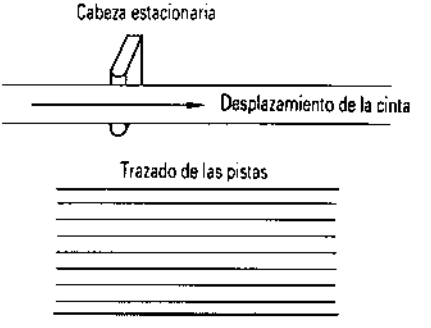
Cabeza rotatoria y cabeza estacionaria

Existen dos mecanismos fundamentales para la grabación de audio digital en cinta: uno de ellos utiliza una velocidad lineal de cinta relativamente baja y una cabeza rotatoria girando a alta velocidad; el otro emplea cinta a alta velocidad y cabeza estacionaria. En los sistemas de cabeza rotatoria la cabeza puede girar de forma casi perpendicular a la dirección del movimiento de la cinta, o bien traza pistas que están casi en el mismo plano en que se desplaza la cinta. El primero se conoce como sistema de barrido transversal y el segundo como sistema de barrido helicoidal. El barrido transversal emplea más cinta que el helicoidal, y no es fácil hoy en día encontrar sistemas que empleen el método transversal para grabaciones digitales.

La razón por la que se emplea cabeza rotatoria es que se consigue una velocidad cabeza/cinta muy elevada, y esto es lo que determina el ancho de banda disponible. Una grabación con cabezas rotatorias resulta más difícil de editar, debido a la forma en que se trazan las pistas (ver figura); una edición «a tijera» destruiría una gran cantidad de pistas. Las longitudes de onda grabadas son muy cortas y la cinta puede dañarse muy fácilmente. Este tipo de grabaciones pueden editarse, sin embargo, con ayuda de editores electrónicos que emplean al menos dos máquinas.

Las cabezas estacionarias permiten diseñar magnetófonos que son, en muchos aspectos, bastante parecidos a los analógicos. Es posible grabar un buen número de pistas paralelas muy estrechas, que ocupan todo el ancho de la cinta. Actuando sobre la velocidad de la cinta y sobre el número de pistas empleadas por canal, pueden conseguirse distintas combinaciones, de forma que se mantenga una determinada velocidad de transferencia de datos. Este método es evidente en el formato DASH, donde la velocidad de cinta puede ser 30 p/s (76 cm s^{-1}) usando una pista por canal, 15 p/s con dos pistas por canal, ó 7'5 p/s si se emplean cuatro pistas por cada canal.





digital en señales con aspecto de información de video, de manera que se podían grabar perfectamente en un VTR. La compañía japonesa Denon, junto con la también japonesa cadena estatal de radio y televisión NHK, fueron los primeros en el mundo en desarrollar un sistema de este tipo, que permitía una grabación PCM; esto ocurría allá por el año 1971. A comienzos de la década de los 80 ya estaban disponibles a buen precio equipos como el PCM-F1, de Sony (representado en la figura 10.13). Empleando un VTR doméstico, podían grabar señales digitales de 16 bits y 44'1 kHz, lo que facilitó el que la grabación de audio digital se extendiera ampliamente.

Se han desarrollado también diversos grabadores digitales de carrete abierto, que utilizan cabezas estacionarias (ver Ficha Temática 10.6). Así mismo se han ideado fórmulas para grabar audio digital en cinta a alta densidad, a lo que hay que unir nuevos códigos de canal (ver

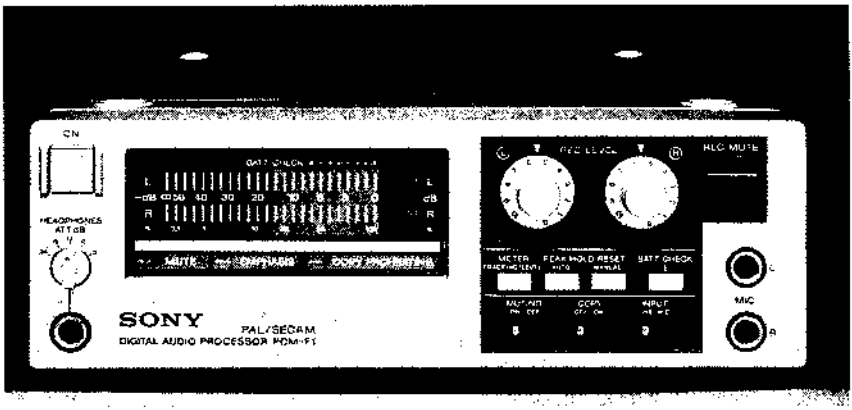


Figura 10.13 Uno de los primeros adaptadores PCM: el PCM-F1, de Sony.

sección 10.3.3), mejoras en la corrección de errores y el diseño de mejores cabezas. Gracias a todos estos avances se puede actualmente disponer de sistemas que emplean muy pocas pistas por canal o, incluso, una única pista digital. Las velocidades de cinta pueden ser 15 ó 30 pulgadas/segundo -p/s- (38 ó 76 cm/s).

Más recientemente han surgido formatos de cabeza rotatoria (ver Ficha Temática 10.6), que ya no utilizan grabadores de vídeo, sino aparatos diseñados específicamente para audio digital. Es el caso del formato R–DAT (ver sección 10.5.3), uno de los más conocidos actualmente.

La cinta para grabación digital es más fina (27'5 micras) que las utilizadas en las grabaciones analógicas. Gracias a esto pueden lograrse mayores tiempos de grabación en un único carrete. Al ser tan fina, esta cinta puede tener mejor contacto con la cabeza que la cinta estándar de 50 micras. Esto es fundamental si se quiere tener grabaciones de alta densidad y con señales de gran ancho de banda.

10.5 Formatos de grabación en cinta

A continuación se ofrece un resumen de las principales características de los distintos formatos de grabación digital en cinta que existen en la actualidad.

10.5.1 Formato Sony para edición de matrices de CD

Los adaptadores PC-1610 y PCM-1630 de la firma Sony han dominado durante muchos años el mercado de edición de matrices para Disco Compacto (que denominaremos, para mayor simplicidad, «mastering» de CD), si bien, según los canones actuales, su formato, basado en un magnetoscopio U-matic, resulta bastante básico (ver figura 10.14). El sistema está diseñado específicamente para la preparación de cintas de cara a la fabricación de CD, y funciona con 16 bits de cuantificación a 44'1 kHz de frecuencia de muestreo. Requiere el uso de un magnetoscopio U-matic de 60 Hz/525 líneas (estándar en EE.UU. y Japón), con algunas pequeñas modificaciones para su uso en audio digital. Entre éstas están, por ejemplo, el anular el compensador interno de «drop-outs» de vídeo –que sustituiría estas pérdidas de señal por niveles de negro– o el desplazar el punto de conmutación de las cabezas. En un principio

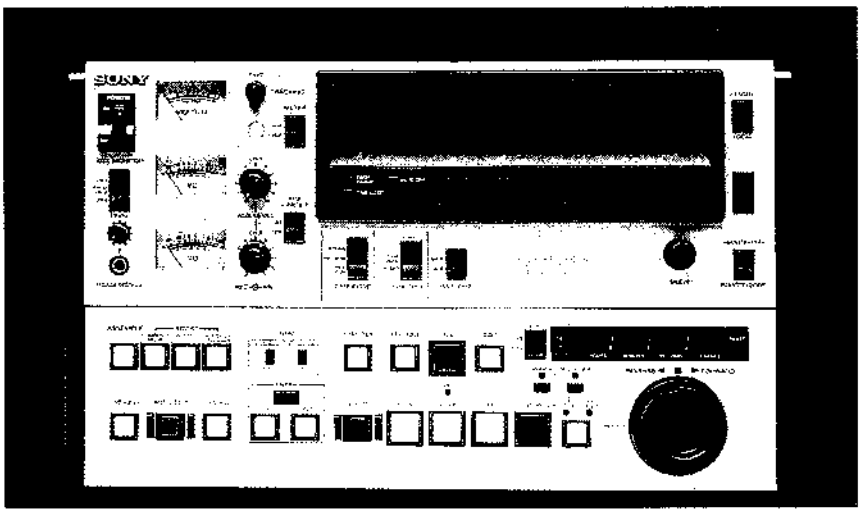


Figura 10.14 Algunos magnetoscópios U-matic, como el de la figura, se utilizan para grabar audio digital dentro del sistema de edición de matrices para CD de Sony (Cortesía de Sony Broadcast and Communications).

Sony recomendaba el uso de aparatos U-matic, como el BVU-200 o el VO-5850, pero más tarde han vendido máquinas dedicadas específicamente al audio digital, como el DMR-2000 y DMR-4000, que disponen ya de generadores internos de código de tiempo. El modelo DMR-4000 está basado en el magnetoscopio profesional BVU-800.

Las grabaciones realizadas en este formato pueden ser editadas electrónicamente con la ayuda de sistemas de edición como el DAE-1100 o el DAE-3000. Empleando una cinta diseñada especialmente para audio digital, se dispone de 75 minutos de grabación. Como el sistema está basado en el estándar de 60 Hz/525 líneas, no resulta fácil sincronizar estas grabaciones con otras en estándar europeo, aunque se ha ideado algún método para lograrlo.

10.5.2 Formatos DASH, PD y X-80

El formato DASH («Digital Audio Stationary Head», o audio digital con cabeza estacionaria) surgió algunos años antes que el formato ProDigi (PD), y está formado en realidad por una familia de formatos de cabeza estacionaria y carrete abierto, que emplean desde 2 hasta 48 pistas de grabación. Las máquinas DASH pueden operar con frecuencias de muestreo de 44'1 kHz ó 48 kHz (y opcionalmente también con 44'056 kHz), y admiten variar su velocidad en ± 12'5%. Están diseñadas para permitir, sin que se aprecie salto alguno en el audio, inserciones «punch-in/punch-out», edición por corte o edición «a tijera», edición electrónica y fácil sincronización. El formato doble DASH está pensado para grabar en dos pistas y disponer de una edición por corte más robusta. Actualmente este formato lo emplean, además de Sony, fabricantes como Studer o TEAC. Los equipos disponibles en el mercado en el momento de escribir este texto son: PCM-3102, 3202, 3402 de Sony y D820-X de Studer, en dos pistas; PCM-3324, 3324A, 3348 de Sony, D820X de Studer, en 24 y 48 pistas, además de TEAC de 24 pistas.

Por su parte, el formato ProDigi fue presentado por la firma Mitsubishi a mediados de la década de 1980 para sustituir al formato anterior, X-80, empleado por el primer grabador de

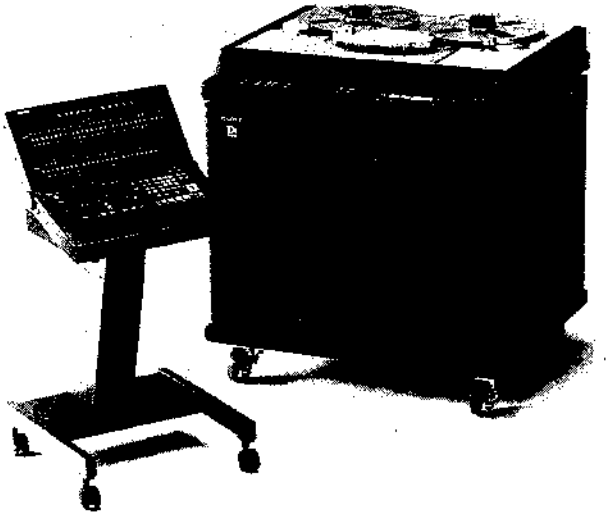


Figura 10.15 Un ejemplo de grabador multipista de carrete abierto: el modelo PCM-3348 de Sony (Cortesía de Sony Broadcast and Communications).

la misma marca, que hacía uso de dos pistas y cabeza estacionaria. Existen menos similitudes entre las versiones de dos pistas y multipista del formato PD que entre las versiones equivalentes del formato DASH. El hecho de que existan o no estas diferencias supone, en cualquier caso, un beneficio menor para el usuario; se trata simplemente de una forma más elegante de diseñar toda una familia de formatos. Los equipos de formato PD ofrecen prestaciones similares a los del formato DASH. Los aparatos disponibles en el mercado en el momento de escribir este libro son: X-86 (dos pistas), X-400 (16 pistas), X-800, X-850 y X-880 (32 pistas), todos ellos de Mitsubishi, y el modelo DTR-900 (32 pistas), de Otari. En la figura 10.15 se muestra el aspecto típico de un aparato multipista digital.

10.5.3 R-DAT

El formato R-DAT («Rotary-head Digital Audio Tape», cinta de audio digital con cabeza rotatoria) surgió a partir de un acuerdo entre un buen número de empresas fabricantes, la mayor parte de las cuales eran japonesas. Se trata de un formato de cabeza rotatoria que emplea un casete de pequeño tamaño y admite diferentes tiempos de grabación y varias frecuencias de muestreo, entre ellas las profesionales 44'1 kHz y 48 kHz. Es normalmente un formato estéreo, aunque en teoría existe un modo opcional que trabaja con cuatro pistas. De acuerdo con el formato original, los aparatos de uso doméstico debían operar a 48 kHz para evitar las copias digitales directas a partir de discos compactos. Sin embargo, las versiones profesionales permiten grabar tanto a 48 kHz como a 44'1 kHz, pero normalmente solo a través de las entradas digitales. Actualmente existen en el mercado un gran número de aparatos R-DAT, tanto de uso doméstico como destinados al campo profesional. Algunos de estos últimos ofrecen, además, posibilidades de edición, sincronización externa y código de tiempo con el estándar IEC.

El estándar IEC para el código de tiempo en R-DAT fue diseñado en 1990, pensando en un formato que permitiera insertar código de tiempo (ver Capítulo 16) en las zonas de sub-

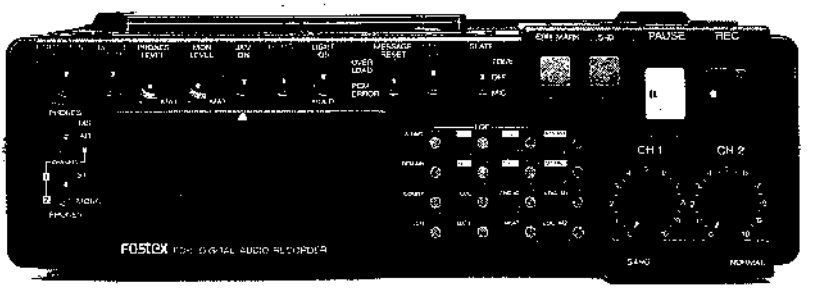


Figura 10.16 Grabador DAT portátil de uso profesional: modelo PD-2 de Fostex (Cortesía de Sound PR).

código de las pistas helicoidales. En la práctica, a partir de un código de tiempo SMPTE/EBU en cualquiera de sus formatos de cuadro, se hace una conversión al código interno del DAT, que graba información sobre el «tiempo transcurrido» en la cinta. En reproducción se hace el proceso contrario, volviendo a tener a la salida un código SMPTE/EBU. Esto obliga a tener un circuito lector/generador de código de tiempo dentro del propio aparato DAT.

En la figura 10.16 puede verse un ejemplo de aparato R-DAT profesional.

10.5.4 Formatos de consumo con cabeza estacionaria

El formato S-DAT («Stationary-head Digital Audio Tape», cinta de audio digital con cabeza estacionaria) se diseñó en un principio como una opción con cabeza estacionaria dentro del mercado del casete de audio digital, si bien no ha pasado de ser un mero prototipo. Es posible que los grabadores S-DAT puedan llegar a encontrar un hueco dentro del mundo de la grabación profesional, pero hasta la fecha esto no ha ocurrido.

En 1992 Philips presentó el casete compacto digital (DCC), un formato con las mismas dimensiones de cartucho que el casete compacto analógico tradicional, y capaz de reproducir ambos sistemas (analógico y digital). Para poder grabar con cabeza estacionaria el formato DCC emplea técnicas de reducción de la tasa de bits. La reducción de datos se lleva a cabo mediante una técnica de codificación patentada, denominada PASC («Precision Adaptive Sub-band Coding», codificación de subbandas con precisión adaptativa). Actúa codificando de forma preferente aquellas bandas de frecuencia que resultan dominantes, o que se perciben mejor por el oído, y haciendo una codificación menos precisa para las señales que resultan enmascaradas. Philips afirma que el DCC consigue un margen dinámico equivalente a una codificación PCM lineal de 18 bits.

Los recientes desarrollos apuntan hacia un uso de las técnicas de reducción de la tasa de bits aplicadas a los formatos de consumo, y se recuerda al lector que este tipo de técnicas no siempre son apropiadas para grabación profesional. Si bien es cierto que la primera generación de grabaciones con compresión de datos puede ofrecer buena calidad de sonido, todo parece indicar que no superarán satisfactoriamente la prueba de hacer sucesivas copias pasando por el dominio analógico, como tampoco parece probable que permitan operar con velocidades variables, entre otras posibilidades. Además, las técnicas de reducción de datos conllevan el uso de retardos, tanto en codificación como en descodificación, lo que puede, tal vez, resultar inadmisible en algunas aplicaciones profesionales. Pasará algún tiempo antes de que el mundo de la grabación profesional haya sido capaz de investigar por completo los posibles «efectos secundarios» derivados del uso de estas técnicas. No obstante, y mientras llega ese

momento, los sistemas con reducción de datos pueden llegar a extenderse, tanto en radiodifusión como en equipos de consumo.

10.5.5 Formato VP-900 de JVC

Este sistema se basaba en el uso de un adaptador PCM trabajando con formato de video NTSC; sus prestaciones y características son similares a las del PCM-1610 de Sony. Las grabaciones podían hacerse tanto en un magnetoscopio VHS NTSC como en uno U-matic, y operaba con frecuencias de muestreo de 44'056 y 44'1 kHz. El sistema se completaba con un editor, un mezclador y un sincronizador. El formato JVC se implantó en EE.UU. en mayor medida que en Europa; en Reino Unido llegó a existir algún que otro equipo. No era compatible con el formato Sony, que se había establecido prácticamente como el estándar para el «mastering» de CD.

10.5.6 Formato Nagra-D

El magnetófono digital de Nagra, que vio la luz en las fechas en que se escribe este texto, fue diseñado como el sustituto digital de los archiconocidos magnetófonos analógicos Nagra, y como tal buscó su aplicación en el campo profesional, tanto en exteriores como en estudios. Se ha presentado un aparato portátil así como máquinas sincronizables para estudio.

El Nagra-D ha sido diseñado para tener mucho en común con el formato de audio usado en los magnetoscopios digitales D1 y D2. Tiene cabezas rotatorias aunque, por razones de conveniencia operativa, utiliza carrete abierto. Capaz de operar con 20-24 bits de resolución, el formato Nagra-D podría ser apropiado para trabajar junto con los recientes conversores de 18 y 20 bits. La cinta admite una edición «a tijera» básica, pero se espera que se edite principalmente por métodos electrónicos. Existe una propuesta para usar un almacenamiento en memoria que permita editar sin cortar la cinta. El sistema de corrección de errores y la densidad de grabación que emplea este formato están diseñados para hacer grabaciones extremadamente robustas. Trabajando en el modo de dos pistas se dispone de un tiempo de grabación de hasta 6 horas, en un carrete de 18 cm. El formato permite trabajar también en el modo cuatro pistas con el doble de velocidad que en el modo estéreo (que es de 4'75 cm s^{-1}), y en cuatro pistas a 9'525 cm s^{-1}.

10.5.7 Otros formatos multipista

Algunas compañías, como Yamaha o Akai, han desarrollado sus propios formatos multipista. La primera presentó en 1990 el modelo DMR-8, un grabador de ocho pistas basado en un sistema de casete que utiliza cabezas estacionarias y permite funciones de «leer-modificar-grabar» en todas las pistas. Es posible hacer inserciones, tanto de entrada como de salida, con el correspondiente fundido «crossfade». El DMR-8 puede trabajar con una resolución de 20 bits, lo que no es muy corriente en cualquier otro tipo de formatos multipista, sean o no profesionales. No permite la edición por corte y no es compatible con ningún otro sistema. El tiempo de grabación es de 20 minutos a 48 kHz, y aumenta de manera proporcional cuando se usan 44'1 ó 32 kHz (la velocidad de la cinta varía según la frecuencia de muestreo). El grabador Yamaha se integra dentro de un conjunto que dispone además de una unidad de efectos y un mezclador; se trata de ofrecer la posibilidad de una grabación y mezcla de audio digital de alta calidad a un precio mucho menor que la mayoría de los sistemas profesionales. Dispone también de una unidad de transporte independiente, que puede utilizarse para aumentar el número de pistas o como un grabador más. Las limitaciones de este formato están en el

poco tiempo de grabación y en la falta de compatibilidad con la mayoría de los formatos existentes. Sin embargo, esto puede no ser tan importante en estudios privados de grabación, en especial cuando se considera el relativamente bajo costo del sistema. El grabador admite sincronización por código de tiempo o mediante «video sync»; existen interfaces para adaptación a los sistemas estándar.

La firma Akai, por su parte, ha lanzado el formato A-DAM («Akai Digital Audio Multitrack», multipista Akai de audio digital). Se trata de un formato de 12 pistas basado en un casete de Video-8, que utiliza grabación con cabeza rotatoria. La grabación se hace con cuantificación lineal de 16 bits a 44'1 ó 48 kHz, y de nuevo resulta incompatible con cualquier otro formato. El tiempo de grabación disponible es 16'5 minutos. Algunas de sus prestaciones son similares a las del sistema Yamaha descrito anteriormente. Ambos formatos están dirigidos al estudio «privado» de grabación, debido al bajo precio y a la posibilidad de sincronizar con video.

Un nuevo formato, lanzado por la firma Alesis, ofrece también grabación multipista usando cuantificación PCM lineal de 16 bits. En este caso está basado en una cinta del tipo VHS. En el momento de escribir este libro no se dispone de mucha más información sobre este sistema.

10.6 Edición de grabaciones digitales

En los formatos DASH y PD, de carrete abierto, es posible hacer ediciones «a tijera», o sea cortando y empalmando cinta. Durante este proceso se monitoran las pistas analógicas de referencia «cue». Estas pistas son necesarias porque las digitales no pueden reproducirse, por lo general, a velocidades que superen en un 10% la velocidad normal. Las pistas analógicas ofrecen una baja calidad –bastante más baja que un magnetófono analógico convencional– pero resultan muy útiles como pistas de referencia.

Para la edición digital en cinta se utiliza un «butt joint» de 90°. La discontinuidad que produce un corte en la cinta sobre la corriente de datos podría ser origen de pérdidas de señal momentáneas, si no se tomasen las medidas oportunas para evitarlo. Para ello se incorporan circuitos capaces de detectar el punto donde se ha hecho el corte y de introducir un fundido electrónico entre ambos lados del mismo; con ayuda de un sistema de ocultación de errores el efecto audible de un corte de este tipo puede resultar casi inapreciable. Se suele dejar una separación de 0'5 mm entre ambas partes del corte, con el fin de que pueda ser detectado por los circuitos de fundido electrónico. Durante una edición por corte puede resultar dañada la cinta magnética. Una medida inteligente puede ser hacer una copia de seguridad de la grabación. La edición electrónica es mucho más apropiada para estos casos, y es de hecho el método más común.

La edición electrónica requiere normalmente el uso de dos máquinas y una unidad de control, según se muestra a modo de ejemplo en la figura 10.17. La técnica de copiado utiliza un código de tiempo, grabado en una pista destinada a tal propósito. Gracias al código de tiempo se puede seleccionar con absoluta precisión cualquier punto sobre la cinta. El punto de edición puede especificarse a veces con una resolución de hasta una muestra. El editor digital puede normalmente grabar varios segundos de programa en una memoria; esta memoria puede ser leída a velocidad normal o bajo el control de un mando giratorio que permite localizaciones a muy baja velocidad (como si se tratara de una cinta analógica que se mueve manualmente adelante y atrás para localizar un punto determinado). El punto de edición se puede marcar con total exactitud y la máquina lo localizará automáticamente. El grabador tiene registrado el programa hasta un poco después del punto de edición; acto seguido el reproductor bobina la cinta hasta llegar al punto donde comienza el próximo corte a editar. De nuevo se cargan en memoria unos cuantos segundos del audio que hay alrededor de ese punto.

A continuación se define el punto donde van a unirse los dos cortes que queremos «empalmar». Recordemos que en este momento del proceso tenemos en la memoria dos fragmentos

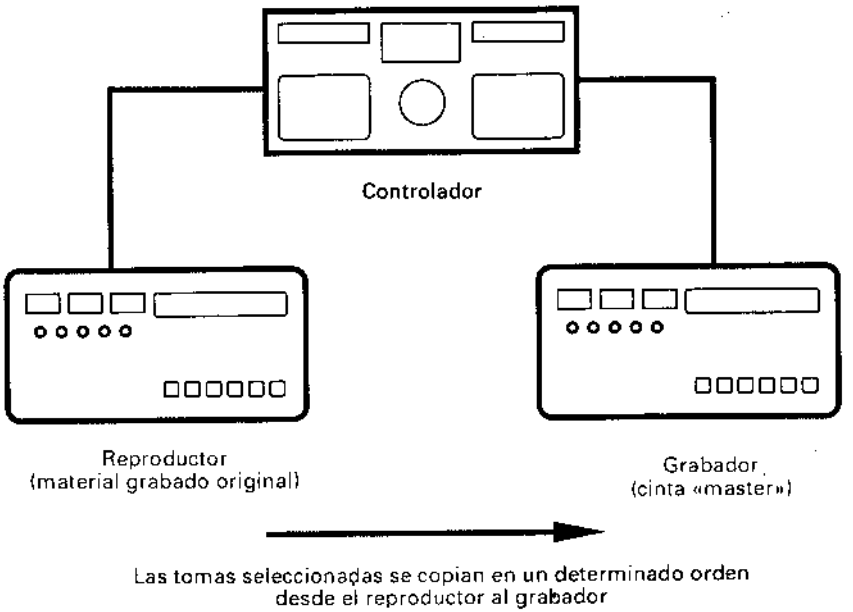


Figura 10.17 En una edición electrónica los distintos fragmentos seleccionados se copian uno a continuación del otro, desde el reproductor al grabador. En los puntos de unión se hacen fundidos de la señal.

de audio de varios segundos de duración; ambos son copia de la señal que hay alrededor del punto de edición en sus respectivos cortes. El editor procederá ahora a reproducir pequeños fragmentos a ambos lados del punto de empalme, conmutando de uno a otro corte para simular cómo quedaría la unión. Podemos «ensayar» varias veces hasta decidir el punto exacto definitivo, antes de grabarlo en la cinta.

El editor puede entonces arrancar las dos máquinas, dejando oír al operador la edición simulada entre una máquina y otra. Esto es interesante porque, para tener una idea del contexto que se está editando, será necesario escuchar una longitud de fragmento mayor que la que cabe en la memoria (algunos sistemas más recientes disponen de mayor capacidad de memoria, y permiten hacer una preescucha de la edición completa sin necesidad de arrancar ninguna máquina). El tipo de programa afectará a la rapidez del fundido, que se decidirá oyéndolo varias veces. Cuando se han decidido tanto los puntos de edición como los parámetros del fundido, se arrancan las dos máquinas, que correrán bajo el control del editor. El grabador deberá conmutar en el momento que se haya determinado para dar entrada a la señal que procede del reproductor. Los sistemas de transporte de ambas máquinas están ahora bajo el control del editor, quien las sincroniza para que el punto de edición llegue en las dos al mismo tiempo; con esto se asegura que la supresión de señal de una de ellas coincide con la llegada de señal de la otra. La cinta fuente original se mantiene inalterada después de la edición. Por su parte, la cinta «master» final quedará formada por una serie de cortes unidos, procedentes de las tomas seleccionadas.

Por lo general, este tipo de sistemas de edición dispone de una serie de prestaciones básicas para hacer una pequeña postproducción: control de nivel general (a veces existen diferencias de nivel entre los distintos cortes que van utilizarse en una edición), balance entre canales y fundido final del programa «fade-out». Es posible también quitar o poner determi-

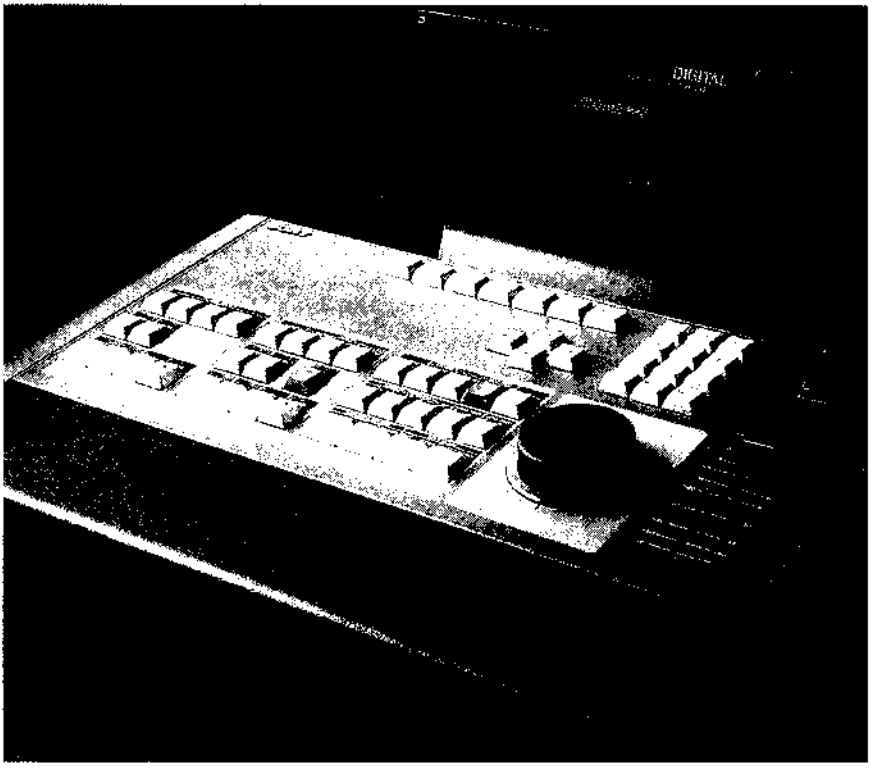


Figura 10.18 Controlador de edición para audio digital: modelo DAE-3000 de Sony (Cortesía de Sony Broadcast and Communications).

nados fragmentos, solo a efectos de escucha. En la pantalla del editor se dispone de toda la información necesaria: código de tiempo, niveles, balance estéreo, tiempo de fundido, y condiciones de error. Mediante un teclado se pueden introducir distintos parámetros durante la edición. En la figura 10.18 puede verse un ejemplo de un editor de estas características.

Tanto las entradas como las salidas del editor son digitales, y todas las funciones se llevan a cabo en el dominio digital. Únicamente se hace una conversión D/A para proporcionar la salida analógica que servirá de monitorado, ya sea por altavoces o por auriculares.

10.7 Mantenimiento y alineación

En un grabador digital no existe diafonía entre pistas, lo que libera al ingeniero de sonido de tener que cuidar dónde sitúa cada una de ellas. En un multipista analógico sí se tiene en cuenta esa diafonía. Así por ejemplo, las voces se suelen grabar en pistas que estén físicamente alejadas de las que ocupa la batería, puesto que la diafonía que pueden provocar estas últimas podría ser fácilmente audible. Para mantener esa separación de seguridad se suelen dejar entre medias pistas no utilizadas, que pueden separar, por ejemplo, la pista de una guitarra eléctrica o del código de tiempo, de una con voz. Todas estas precauciones no son en absoluto necesarias en un multipista digital.

Al contrario de lo que ocurre en los magnetófonos analógicos, la distorsión no aumenta en los digitales por el hecho de que aumente el nivel de la señal. Existe un nivel máximo de grabación perfectamente definido. Además, el multipista digital debe disponer de medidores de respuesta rápida, capaces de registrar cualquier pico esporádico. Algunos de estos medidores pueden retener el valor del pico máximo en un determinado pasaje de la grabación, lo que puede servir como referencia a tener en cuenta. Al igual que ocurre con las entradas y salidas analógicas, en los aparatos digitales se dispone de entradas y salidas, en este caso digitales, que permiten copiar de una máquina a otra, o conectarse a un sistema de edición sin salir del dominio digital. Las interconexiones entre equipos digitales -o interfaces digitales- pueden hacerse a través de conectores coaxiales BNC, enlaces ópticos, clavijas «phono» (RCA) o conectores XLR, dependiendo del estándar que se emplee. El formato de interconexión más universal es el AES/EBU (que emplea conectores XLR-3), para equipos profesionales, y el SPDIF (con conectores RCA), en los aparatos de consumo.

Los magnetófonos digitales necesitan tanto o más cuidado y mantenimiento que sus parientes analógicos. De hecho, en un aparato analógico puede hacerse un seguimiento para detectar cualquier ligero deterioro de sus características, con mayor facilidad que en uno digital. Con ayuda de cintas de prueba, se pueden detectar y corregir pequeñas pérdidas en la respuesta en frecuencia, por ejemplo, debidas tal vez a un desgaste de las cabezas o a desajustes en su acimut. Este tipo de fallos ocurren de forma regular y son fácilmente detectables mediante un mantenimiento preventivo, que puede consistir en comparar periódicamente las características actuales del aparato con las que tenía, por ejemplo, hace un par de meses. Los desajustes que pueda tener un aparato digital, sin embargo, provocarán dos tipos de problemas, ninguno de los cuales puede detectarse fácilmente, a no ser que se lleven a cabo chequeos periódicos exhaustivos.

En primer lugar, el sistema de transporte se puede desajustar de tal forma que, aunque las cintas grabadas en ese aparato serán reproducidas correctamente en el mismo aparato, cualquier otra máquina, bien ajustada, tendrá problemas para reproducir esas mismas cintas y obtener de ellas la información grabada. Los sistemas de corrección de errores deberán trabajar al máximo, pero en muchos casos no evitarán que haya pérdidas de señal. En un magnetófono analógico la misma situación produciría fenómenos tales como un aumento de la diafonía entre canales, ligeras pérdidas en alta frecuencia o una incorrecta reproducción del nivel de Dolby, por ejemplo. En ultimo extremo, se puede realinear la cabeza de reproducción hasta leer la cinta correctamente. Si un magnetófono digital no reproduce correctamente una cinta, el ingeniero de sonido se mostrará reacio a especular sobre la causa para tratar luego de corregir el problema (una reacción que puede ser comprensible).

En segundo lugar, una grabación digital se podrá llevar a cabo sin problemas hasta que las cosas vayan tan mal que empiecen a aparecer pérdidas de señal. Estos «drop-outs» no suelen venir avisados con antelación, si bien, haciendo un seguimiento del número de errores que van apareciendo podemos tener una idea muy aproximada de si el sistema se está acercando al límite, en lo que se refiere a errores aleatorios. Si el equipo dispone de pilotos indicadores de error, éstos pueden servir de aviso para conocer el estado de la cinta o un posible desajuste de la máquina. Según se explicó en la Ficha Temática 10.5, existen diferentes grados en la gravedad de los errores. Si el aparato está generando una cadena casi constante de errores CRC o de interpolaciones, es un síntoma claro de que la máquina o la cinta se encuentran en mal estado, con un posible desajuste o desgaste. Es, por tanto, extremadamente importante comprobar la alineación a menudo, para lo que se puede hacer uso de cintas de prueba disponibles para este propósito. Parámetros como el nivel absoluto de tensión en cada canal de salida de una cabeza de reproducción necesitan ser verificados con regularidad. Lo mismo ocurre con el lloro y fluctuación de la cinta, que deberá vigilarse para que no alcance valores que impidan la correcta descodificación de los datos.

10.8 Protección anticopia

La aparición del casete digital de consumo, capaz de hacer copias digitales «perfectas» de un CD, hizo surgir un sentimiento de preocupación en las compañías de grabación, puesto que temían importantes pérdidas en las ventas de Discos Compactos. Se entablaron distintas conversaciones, seguidas de batallas legales, que dieron como resultado el fijar la norma de que los aparatos DAT deberían aceptar sólo señales digitales muestreadas a 48 kHz; con esto se evitarían las copias directas desde un CD. Para hacer copias deberían utilizarse las entradas analógicas. Las necesidades de un equipo profesional le obligan a aceptar, por lo menos, entradas de 44'1 y 48 kHz y, si es posible, también el estándar de radiodifusión, a 32 kHz.

Los primeros aparatos DAT estaban, en efecto, sujetos a esa norma, pero se redactaron algunos acuerdos para que las máquinas destinadas al mercado doméstico incluyeran un dispositivo interno de prohibición de copia. Se presentó el sistema SCMS («Serial Copy Management System», sistema de gestión de copias en serie), que permite que un CD, por ejemplo, pueda copiarse digitalmente en una cinta DAT, pero incluyendo al mismo tiempo una «bandera» en la copia resultante. Si se intenta hacer una copia digital de esa cinta en otro aparato que disponga del sistema SCMS, será detectada la «bandera» y ello impedirá la copia. Pueden hacerse infinitas copias del disco original, pero están prohibidas las copias de copias. Dentro de la trama de datos del formato CD existe la posibilidad de incluir esta bandera durante su fabricación; con esto podría evitarse la copia directa en formato digital.

El problema es que el sistema SCMS debe estar permanentemente activo en la máquina, o de lo contrario resultaría fácil de anular por el usuario. El código aparecerá en todas las copias realizadas en digital, prácticamente para cualquier posible fuente. Esto evita copias digitales de más de una generación, ya sea de una máquina a otra o por procedimientos de edición. Por tanto, los aparatos profesionales no incorporarán este sistema al no estar disponibles a través de los establecimientos de venta al detalle. Los equipos domésticos no servirán para la mayoría de los usos profesionales. El sistema SCMS se incorpora únicamente a través del formato de interconexión SPDIF, no en el profesional AES/EBU.

10.9 Grabación en disco duro

El disco duro, o «Winchester», se lleva utilizando durante muchos años. Originalmente su función era la de sistema de almacenamiento de datos para ordenador, con acceso rápido a la información grabada. En la actualidad continua desempeñando esa función, pero, puesto que los datos de audio digital no son muy diferentes de cualquier otro tipo de datos, el disco duro puede servir también como sistema de grabación. Su capacidad de almacenamiento de datos, junto con la posibilidad de acceso rápido a cualquier sección de material grabado -sin necesidad de pasar por otras areas, como ocurre con los sistemas de cinta- ha abierto un sinfín de posibilidades en el campo de la edición y postproducción de audio.

10.9.1 Construcción del disco

El disco está recubierto por una capa magnética capaz de almacenar información de manera análoga a como se hace en una cinta (o sea, mediante inversiones de flujo magnético). Dispone de un brazo, similar al que se emplea en un tocadiscos, en cuyo extremo se sitúa una cabeza de lectura/escritura suspendida una fracción de milímetro por encima del disco sin llegar a tocarlo. Esta separación se mantiene gracias a los efectos aerodinámicos que produce la rápida rotación del disco (ver figura 10.19). El disco está en permanente rotación desde que se arranca el sistema, y cuando se desconecta la unidad la cabeza se dirige hacia una zona del disco destinada a

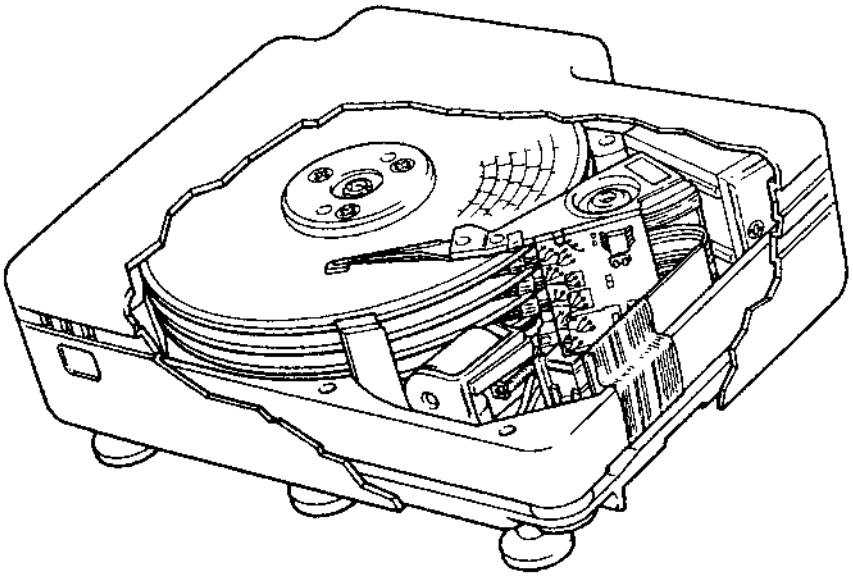


Figura 10.19 Corte de una unidad de disco Winchester (Cortesía de MacUser magazine).

su «reposo»; en esta zona no se graba ningún dato. Como vemos, no existe en ningún momento contacto físico entre la cabeza y el disco, evitando así que haya desgaste de ambas partes.

La información no se graba en forma de una espiral continua, como en el caso de un LP o un CD, sino en una serie de anillos concéntricos discretos (ver figura 10.20). La información que se lee del disco es discontinua en el tiempo, puesto que la cabeza va saltando de un anillo a otro, tanto en lectura como en escritura. Un sistema Winchester completo está formado por un conjunto de unidades disco+brazo, apiladas una sobre otra y unidas por un eje común. Gracias a una esmerada fabricación se consiguen grandes densidades de empaquetamiento de discos; una vez montado el conjunto, éste se sella dentro de un módulo que lo aísla de cualquier posible contaminación externa. Los discos no pueden, por consiguiente, ser sustituidos de forma individual. Si se necesita grabar más información de la que cabe en una unidad de disco duro determinada, será necesario recurrir a algún otro sistema de volcado de datos, como puede ser una unidad de cinta o un sistema de disco óptico. No existe posibilidad de un borrado previo antes de escribir nuevos datos en el disco: los nuevos datos simplemente se graban sobre los ya existentes; esto se conoce como «sobreescritura». Para disponer de mayor capacidad de almacenamiento pueden añadirse más unidades de disco.

10.9.2 Grabación de audio en discos

La naturaleza discontinua de la grabación sobre la superficie del disco, unida al hecho de repartir los datos sobre diferentes superficies, hace necesario el empleo de una memoria RAM («Random Access Memory», memoria de acceso aleatorio), actuando como un «buffer». La secuencia de datos discontinuos se graba en la memoria durante un corto espacio de tiempo, antes de ser convertido en una corriente continua de información; durante la grabación este «buffer» hace la función inversa (ver figura 10.21). Al recuperar la información grabada se

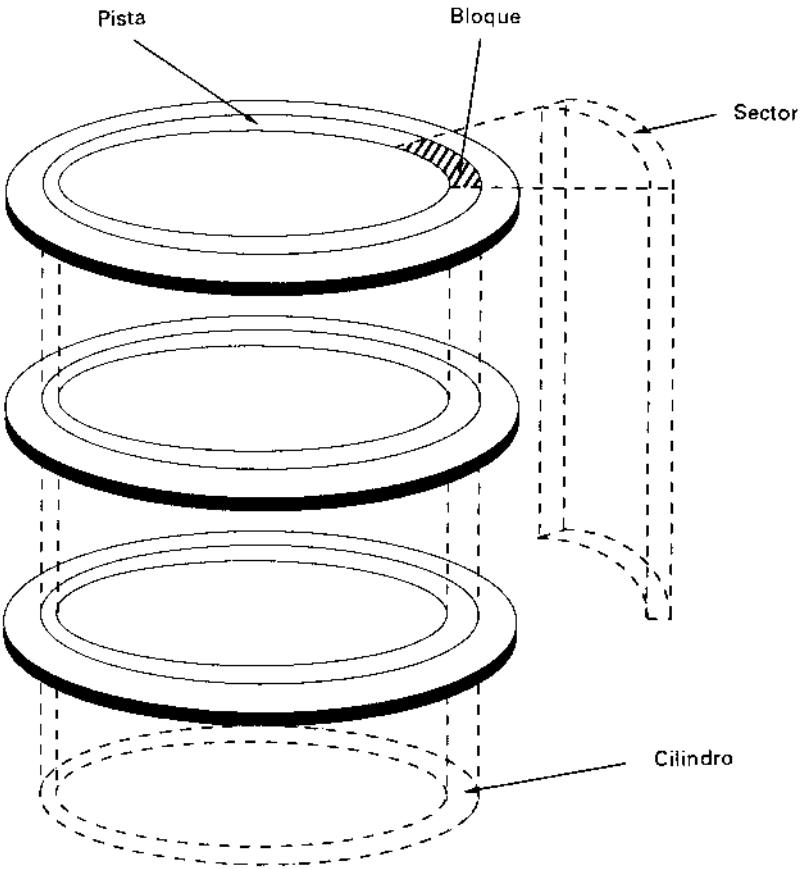


Figura 10.20 Las superficies de una unidad de disco duro están divididas en pistas, sectores, bloques y cilindros.

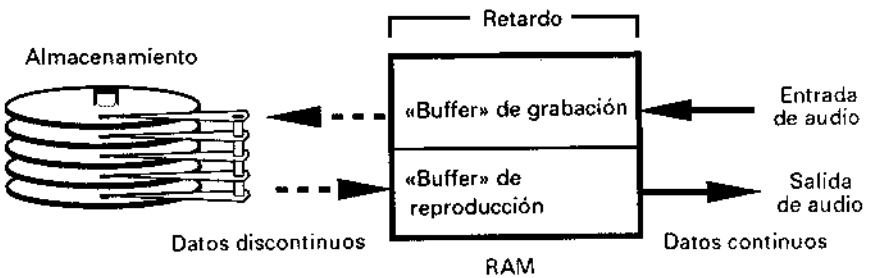


Figura 10.21 En grabación, una memoria temporal convierte la secuencia continua de información de audio en ráfagas datos que son grabados en discos; en reproducción ocurre el proceso inverso.

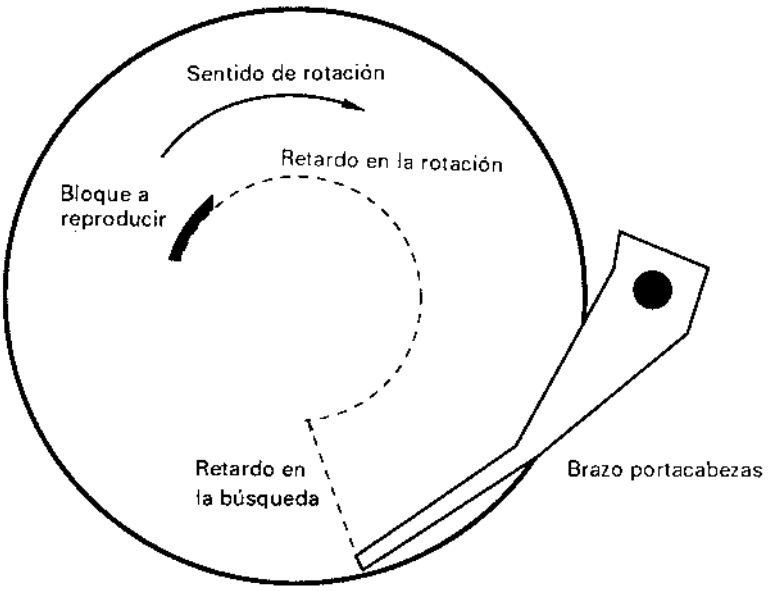


Figura 10.22 Distintos retardos que tienen lugar en la lectura de un bloque de datos en un disco.

produce un retardo debido a distintas causas: el tiempo que tarda un brazo en desplazarse de un punto a otro del disco, el tiempo que tarda una cabeza en leer todos los datos dentro de un determinado anillo de información y, finalmente, el tiempo de transferencia de los datos entre el disco y su salida exterior, pasando a través de la RAM. En la figura 10.22 se representa gráficamente esta idea. El retardo total, o *tiempo de acceso* a los datos, es en la práctica de varios milisegundos. La velocidad instantánea a la que el sistema puede entregar o recibir datos, denominada velocidad o tasa de transferencia, puede estar alrededor de 10 megabits por segundo (Mbit s^{-1}), como mínimo, dependiendo de la unidad de disco en cuestión.

Una frecuencia de muestreo estándar de 48 kHz junto con una resolución de 16 bits requieren una velocidad de transferencia de datos ligeramente por de bajo de 1 Mbit s^{-1}. Cuando se tienen en cuenta las limitaciones debidas al tiempo de acceso, la potencia del sistema se ve reducida. Si hacemos un análisis más realista, la capacidad queda limitada a entre cuatro y ocho pistas simultaneas por cada unidad de disco. Si bien es cierto que podemos grabar un gran número de «pistas» por separado, sólo un pequeño número de ellas pueden reproducirse de forma simultanea, a no ser que se conecten en paralelo varias unidades de disco.

La capacidad de almacenamiento de un disco duro determina cuántos minutos de audio digital pueden almacenarse. Un disco de 360 Mbyte será capaz de almacenar 60 minutos de sonido mono, con las características profesionales. Este tiempo, obviamente, se reduce en función del número de pistas; así, tendremos 30 minutos en estéreo, 15 minutos con cuatro pistas, etc. Una de las características principales de un sistema de disco es que la capacidad de almacenamiento no se «desperdicia» necesariamente, como ocurre en una cinta. Durante la grabación en una cinta multipista, habrá determinadas zonas en cada pista que no contengan información alguna. En un disco duro esos «silencios» no necesitan ser grabados; por tanto, se logra un aprovechamiento completo de la capacidad disponible. Con un sistema de 360 Mbyte como el mencionado se pueden lograr capacidades mayores de lo que podría pensarse trabajando con multipista.

Gracias a un proceso conocido como «formateo» es posible identificar y extraer una determinada información almacenada en el disco. Los discos se formatean durante la fabricación, lo que significa que se graba en ellos información sobre una referencia de posición. Cada porción de datos tendrá entonces su propia etiqueta o dirección dentro del disco, y esta dirección podrá utilizarse para identificar cualquier punto de forma precisa cuando se está editando o haciendo una preescucha.

10.9.3 Estaciones de trabajo basadas en disco duro

Una estación de trabajo «workstation», como la que puede verse en la figura 10.23, es básicamente un conjunto de mezclador digital y editor, que puede interconectarse con un sistema basado en disco, que es el encargado de almacenar información digital. Dispone de salidas analógicas para monitorado del proceso. En primer lugar todo el material en bruto con el que se va a trabajar debe cargarse en el disco. Esto debe hacerse en tiempo real, lo que supone un consumo de tiempo a tener en cuenta; el volcado de la información una vez editada es un proceso que también requiere su tiempo. Son estos dos pasos, y el hecho de que los discos no puedan llevarse de un lado para otro, los que hacen que el sistema no sea ideal para algunas aplicaciones. Este uso poco productivo del tiempo plantea inconvenientes si varios clientes pretenden hacer uso de una determinada prestación en el mismo día. Para resolver algunos de estos problemas, no obstante, se dispone hoy en día de sistemas de almacenamiento en disco óptico que pueden intercambiarse (ver sección 10.10). Gracias a ellos los tiempos de volcado pueden aprovecharse en muchos casos de forma más productiva -para hacer una audición de todo el material en bruto antes de la edición, por ejemplo-.

Una vez cargado el material, la gran ventaja de las estaciones de trabajo frente a los sistemas de cinta -en lo que respecta a la edición y postproducción- es que se puede tener acceso casi instantáneo a cualquier parte del programa, sin necesidad de bobinar y rebobinar la cinta. Estas labores pueden resultar difíciles, tediosas o incluso imposibles. El proceso de edición no es destructivo. Si uno desea cambiar el orden de los versos en una canción, por ejemplo, pueden identificarse los puntos de edición haciendo uso de las direcciones de los datos. Mediante un mando giratorio y la ayuda de una memoria RAM podemos desplazarnos hacia delante y hacia atrás sobre el sonido grabado. La estación de trabajo puede ser programada

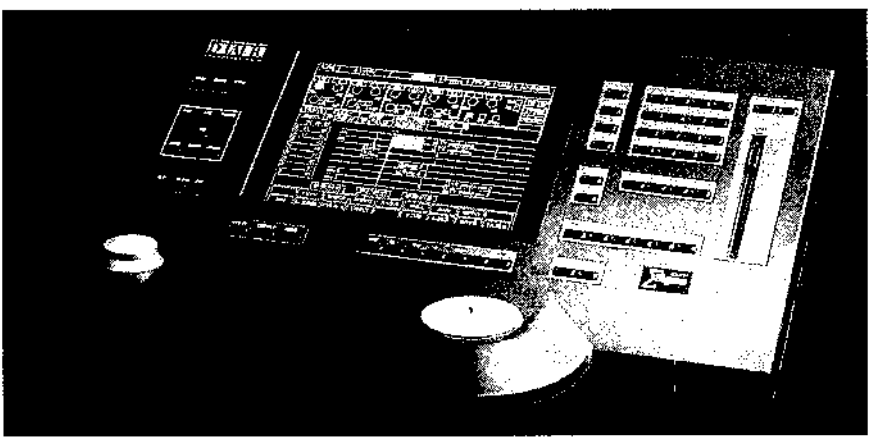


Figura 10.23 Ejemplo de una típica estación de trabajo digital basada en disco duro: el modelo *Sigma* de SoundStation (cortesía de Digital Audio Research).

para reproducir determinadas secciones en un orden distinto al original. Finalmente, gracias a la existencia del «buffer» de disco y a poder ajustar los tiempos de fundido, el ordenador puede editar puntos concretos con extrema precisión. Operaciones tales como «eliminar el segundo verso» pueden llevar tan solo unos segundos, en contraste con el tiempo que sería necesario en un sistema de cinta. Volver al estado original de la grabación no plantea ningún problema: simplemente se anulan los comandos de edición.

Algunas de las funciones que ofrecen las distintas estaciones de trabajo son: ecualización, panorámica, retardos, compresión de audio, compresión y expansión en el tiempo sin cambiar la tonalidad del sonido (se emplea a menudo en postproducción de video para ajustar un pasaje de audio a la duración de una determinada escena), bucles entre distintas secciones, funciones de mezcla (que pueden afectar a un determinado número de pistas en el disco), e incluso «repicado» de pistas, por el que dos o más pistas pueden mezclarse entre sí y grabarse acto seguido en cualquier otra parte del disco. En principio, se dispone de cualquier función que pueda encontrarse en un mezclador convencional.

Existe también de una VDU, que permite al operador conocer con precisión en qué lugar de la grabación se encuentran los distintos puntos de interés, que pueden, además, ser «etiquetados». El código de tiempo puede ser tanto generado como leído. En la pantalla del editor están presentes, así mismo, otras informaciones, como duración de cada sección, ajustes de ecualización o tiempo disponible en el disco. En una zona distinta de la memoria RAM se graban comandos de edición y alguna otra orden de postproducción; esto puede ser volcado en el disco en forma de una lista de edición (EDL) «Edit Decision List». Los comandos de esta lista controlan y organizan la forma en que se va a reproducir parte del material grabado en el disco. Cuando se almacena un material grabado en disco conviene almacenar también la lista de edición, ya sea en el mismo soporte que los datos de audio o en un disco flexible de ordenador.

Hoy en día se puede editar audio por medio de un simple editor estéreo, o con ayuda de un ordenador personal y su correspondiente programa; a partir de ahí es posible, incluso, producir una cinta «master» para elaboración de un CD, por ejemplo. En estos casos no se dispone de las mismas prestaciones que tiene una estación de trabajo, pero eso dependerá del «software» empleado en cada caso. Con estos sistemas básicos de edición musical, que pueden ser actualizados periódicamente, es posible conseguir, no obstante, resultados satisfactorios a bajo costo.

10.10 El disco óptico en la grabación digital

El disco compacto, CD, es un ejemplo bien conocido de disco óptico. *Óptico* significa que se emplea la luz –en lugar de cualquier otro medio físico o electromagnético– para leer la información contenida en la superficie de un disco, haciendo uso para ello de un haz láser. Como ocurre con los sistemas de disco duro, son necesarios tiempos de acceso muy cortos si se pretende utilizar un disco óptico como parte integrante de un sistema de postproducción de audio. Esto hace que el disco compacto grabable sea inapropiado para la mayoría de las aplicaciones, puesto que ofrece pobres prestaciones cuando se le compara con otras unidades de disco óptico diseñadas específicamente para tener acceso rápido y grandes capacidades de almacenamiento.

10.10.1 Tipos de discos ópticos

Existen dos tipos principales de discos ópticos, los dos presentados dentro de cartuchos protectores similares a los de un disco flexible de ordenador.

En primer lugar está el WORM («Write Once Read Many times», una escritura y muchas lecturas), en el cual puede grabarse información una sola vez, y queda grabada en él para siempre. El disco, como su nombre indica, se puede leer o reproducir tantas veces como se desee.

En segundo lugar existe el disco magnetoóptico, M-O «Magneto-Optical disk», capaz de ser borrado y regrabado. Normalmente es necesario borrar el disco, antes de volver a grabar una nueva información, lo que origina retrasos a la hora de operar con él. Ambos tipos de discos se diferencian en la forma en que se graban y leen sus datos.

El disco WORM (ver figura 10.24) es formateado durante su fabricación, como ocurre con el disco duro; se trazan las pistas sobre su superficie para que puedan servir de guía a la cabeza de lectura/escritura. Debajo de esta superficie transparente se sitúa una capa compuesta de dos metales que, cuando son calentados durante la escritura por el láser de alta potencia, se combinan para formar una determinada aleación. Esta aleación es capaz de reflejar la luz. El láser va alternando rápidamente entre las situaciones de activo e inactivo, formando así la cadena de datos que queda grabada sobre el disco. La lectura se hace mediante un láser de baja potencia, de la misma manera que en un reproductor de CD. La información está ordenada en series de anillos concéntricos, en lugar de una espiral continua. La grabación en un WORM es permanente e irreversible, y tiene un alto grado de estabilidad. Este tipo de disco está especialmente indicado para almacenar datos durante mucho tiempo.

Al igual que ocurre en el WORM, la superficie de un disco M-O necesita ser formateada durante la fabricación. Las pistas están trazadas también en forma de anillos concéntricos. De nuevo se utiliza un láser de relativamente alta potencia para calentar la capa situada debajo de la superficie transparente, pero en este caso el láser actúa en presencia de un campo magnético. Una vez enfriado cada punto de la superficie, se retienen sus propiedades magnéticas. Durante el proceso de reproducción se emplea un láser de baja potencia; éste hace uso de un fenómeno conocido como efecto Kerr, mediante el cual la polarización de la luz puede hacerse cambiar en presencia de un campo magnético. Así pues, la polarización del haz de láser va cambiando a medida que se refleja sobre los distintos puntos que han sido magnetizados durante la grabación. Detectando estos cambios de polaridad en la luz reflejada se pueden extraer los datos grabados. La información grabada en el disco no se ve afectada por la presencia de

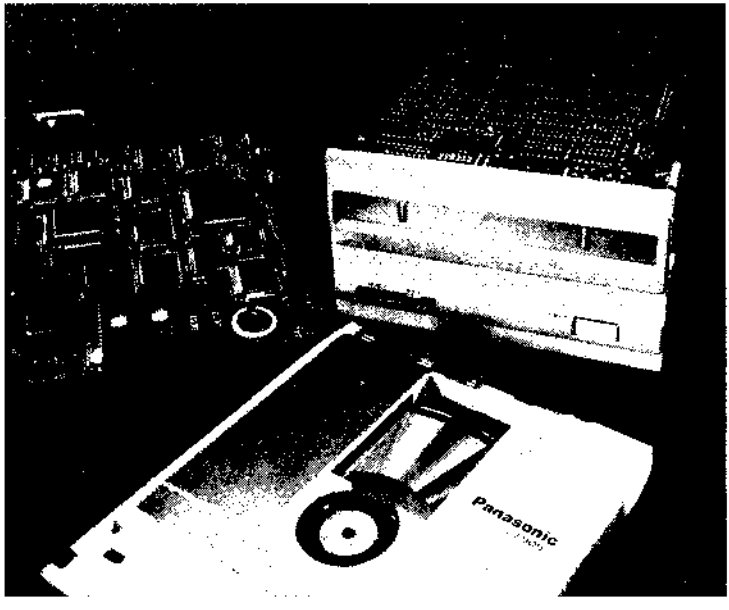


Figura 10.24 Ejemplo de WORM y su correspondiente unidad de disco (Cortesía de Panasonic UK).

campos magnéticos, ya que la grabación puede llevarse a cabo solo durante el proceso de calentamiento. El borrado se logra calentando de nuevo cada uno de los puntos sobre la superficie del disco bajo la influencia de un campo magnético de polaridad inversa. Antes de regrabar sobre el disco es necesario un proceso previo de borrado.

Un método alternativo emplea una capa amorfa (no cristalina) que se transforma en cristalina cuando sufre un calentamiento. Una superficie cristalina refleja la luz mucho mejor que la zona amorfa que la rodea. En este caso no es necesario un borrado previo antes de regrabar datos. El fabricante indica normalmente el número de ciclos de borrado/escritura que es capaz de soportar el disco, que suele estar alrededor de 1 millón. El disco, de 13 cm (5'25 pulgadas) de diámetro, puede grabarse por ambas caras, con una capacidad en cada una de ellas de alrededor de 325 Mbyte; ello permite disponer de 2 x 30 minutos de audio digital en estéreo. Existe también una versión más pequeña de este disco, con 128 Mbyte de capacidad en diámetro de 8'75 cm (3'5 pulgadas). Como ocurría en el caso del disco duro, en los sistemas de disco óptico se necesita hacer uso de una memoria RAM para transformar la secuencia discontinua de datos que se extraen del disco, en una serie continua de unos y ceros.

Aunque los estándares internacionales se han puesto de acuerdo en definir las especificaciones del disco magnetoóptico, los fabricantes se han apartado a veces de ellas buscando menores tiempos de acceso, mayores tasas de transferencia de datos y mayor capacidad de almacenamiento.

10.10.2 Aplicaciones de los discos ópticos

La gran ventaja del disco óptico sobre el disco duro, o Winchester, es que puede extraerse de la unidad de disco. Podemos cargar nuevos discos con más información, sin necesidad de perder tiempo haciendo volcados hacia dentro o hacia fuera del sistema. La velocidad efectiva de transferencia de datos en los discos M-O es, por lo general, más baja que en el caso de los discos duros, lo que limita su uso a trabajos de postproducción en dos o cuatro pistas, a menos que se utilice algún método de reducción de datos. Conviene recordar que media hora de audio digital convencional en 24 pistas necesita alrededor de 4000 Mbyte de almacenamiento; conseguir enganchar entre sí 10 o más unidades de disco óptico, para llegar a estas capacidades, resulta, hoy por hoy, poco oportuno o excesivamente caro.

10.11 El Disco Compacto

El disco compacto (CD) fue inventado por Philips y definido con más detalle en sus especificaciones por Philips y Sony, conjuntamente. Este formato, con el que ya estamos familiarizados, vio la luz en 1982. Supone el sustituto digital del disco analógico tradicional. Las características de los reproductores de CD varían considerablemente de un modelo a otro, y no entraremos aquí a verlas con detalle. Podemos mencionar, no obstante, que los modelos profesionales ofrecen funciones tales como: repetición de un determinado pasaje, bucles, mando giratorio para búsqueda, velocidad variable, preescucha automática, etc.

La alta calidad de la información grabada y su consistencia en reproducción, hacen al disco compacto muy apropiado para suministrar tonos de prueba de distintas características: tonos para comprobación de fase entre canales, ruidos rosa y blanco, tonos muy estables para medidas de lloro y fluctuación, barridos para comprobar la respuesta en frecuencia, tonos de prueba para medidas de distorsión por intermodulación -que emplean dos frecuencias muy próximas, una para cada canal-, ráfagas de tonos, medidas de la linealidad de fase para toda la banda de audio, etc. Este tipo de discos constituyen un buen paquete de señales se prueba y a un precio realmente bajo, si se compara con el coste de los equipos de laboratorio que se utilizan para generar estas señales.

10.11.1 Principios básicos

Los datos están grabados en forma de una finísima espiral, formada por pequeñas marcas, que alternan huecos con ligeras protuberancias sobre una superficie de material plateado. El láser que lee estas marcas «pits» está enfocado de forma que no «ve» la superficie transparente que recubre dicha capa de plata grabada. Esto proporciona al sistema una gran inmunidad frente a posibles partículas de polvo, huellas dactilares o manchas en la superficie del disco. El haz se hace pasar a veces a través de un dispositivo que, mediante difracción, produce otros dos haces adyacentes que se utilizan para detectar las pistas contiguas. Con ayuda de un servosistema estos haces sirven para mantener el haz principal en el centro de la pista que se está leyendo. El haz reflejado se recoge por medio de un fotodiodo.

La espiral comienza próxima al centro del disco y finaliza cerca de su perímetro. El disco tiene capacidad para unos 80 minutos, pero suelen grabarse poco más de 70 minutos, para mayor seguridad. Contiene información en una sola cara, destinando la otra a estampar los títulos. Se utiliza una rotación con velocidad lineal constante (CLV), lo que significa que el disco gira a diferente velocidad dependiendo de qué parte del mismo se está leyendo. La velocidad de rotación varía entre 500 rpm, cuando el lector está en su parte más interna, y 200 rpm cuanto está próximo al perímetro. Esto implica que los datos resultan leídos a una velocidad constante a lo largo de toda la duración del disco.

10.11.2 Subcódigo

Además de los datos de audio, el disco contiene otras informaciones que sirven, por ejemplo, para mantener constante (y corregir) la velocidad lineal -con ayuda de los servocontroles de velocidad-, para corregir datos erróneos, para permitir el acceso aleatorio a cualquier punto, o para informar al usuario sobre la duración de las canciones, títulos, indices, etc. Se dispone de 8 palabras de control de 98 bits cada una, denominadas P, Q, R, S, T, U, V, y W. En la actualidad se utilizan solamente la P y la Q (subcódigos PQ), que proporcionan información sobre la situación de las distintas pistas, índices dentro de esas pistas, longitud de las mismas, tiempo total transcurrido y duración de las pausas entre pistas.

Otra información que se incluye entre los datos es la que indica al reproductor si tiene que hacer uso o no del desénfasis. Esta operación implica un corte en agudos (con constantes de tiempo de 50 µs y 15 µs), lo que significa que la respuesta en reproducción disminuye 3 dB a 3183 Hz, cae ligeramente hasta llegar a 10610 Hz y, a partir de este punto se mantiene plana. Durante la grabación se lleva a cabo el proceso inverso, que consiste en reforzar los agudos en la misma medida, de forma que la respuesta en frecuencia total se mantenga plana. Con este método se logra una reducción de ruido de unos 5 dB, pero el preénfasis limita el margen de seguridad en altas frecuencia durante la grabación; para evitarlo pueden emplearse niveles de grabación más bajos, lo que no es del agrado de algunos ingenieros de sonido. El lector de CD es capaz, por tanto, de detectar si se ha empleado o no preénfasis, y de aplicar el desénfasis si procede.

En el comienzo del CD se sitúa la tabla de contenidos. El lector hace rotar el disco, graba esta información en memoria, detiene el disco y queda a la espera de nuevas instrucciones. Algunos discos se graban junto con índices, incluidos durante su elaboración; algunos reproductores permiten localizar fácilmente cualquiera de estos puntos.

10.11.3 Fabricación de un CD

La cinta U-matic empleada en el formato Sony para la elaboración de la copia matriz del CD (ver sección 10.5.1), contiene código de tiempo SMPTE en la pista 2. El operador dispondrá

de una lista de contenidos para identificar pistas, silencios, etc., marcados con su correspondiente código de tiempo. El código de tiempo comienza normalmente 1 ó 2 minutos antes que la información real de audio, y se mantiene aproximadamente un minuto después de acabado éste. En la pista 1 (izquierda) se graba así mismo el subcódigo PQ. Este comienza también antes de que lo haga el programa, y está codificado en forma de una ráfaga de datos, situada normalmente 30 segundos después del comienzo del código de tiempo de la pista 2; no es necesario que finalice esta ráfaga para comenzar a grabar la señal de programa. Los códigos PQ se añaden mediante un editor especial.

Los datos de programa se graban al agua fuerte con láser sobre un disco matriz de cristal fotosensible. A continuación, este disco se revela y se recubre de una lámina de plata; las sucesivas estampaciones se harán a partir de este disco. Se inyecta después policarbonato plástico dentro de los estampadores y acto seguido se deposita sobre esta superficie una capa de aluminio vaporizado; este depósito se hace en condiciones de alto vacío para que la superficie resulte muy reflexiva. El siguiente paso en la fabricación consiste en recubrir la lámina con un una capa transparente que le sirve de protección. Finalmente, en la otra cara del disco se imprime la información sobre contenidos y títulos.

En la cubierta del disco se ofrece una información compuesta de tres letras mayúsculas, por ejemplo: AAD, DDD, etc. La primera letra indica si la cinta «master» original era digital o analógica. La segunda indica si la postproducción, edición, etc. está hecha en el dominio digital o en el analógico. La tercera letra solo puede ser una D, indicando que el proceso final de fabricación es digital.

10.11.4 Otros formatos CD

Existen distintos formatos basados en el disco compacto. El CD-R (disco compacto grabable) permite una única grabación sobre discos vírgenes. El CD-E (disco compacto grabable/borrable) admite ciclos de grabación/borrado. Hoy en día pueden encontrarse varios aparatos capaces de manejar estos formatos. Se necesitan discos vírgenes especiales, siendo los procesos de grabación similares a los que se emplean el WORM y el disco M-O, descritos en este capítulo. Estos equipos son apropiados para producir tiradas cortas de discos, para la supervisión antes de enviar la cinta «master» a la planta de fabricación. Operan normalmente asociados a un ordenador con el correspondiente programa.

Además de su papel como medio para almacenar audio, se puede pensar en el CD como un mero sistema de almacenamiento de datos. Tiene capacidad para alrededor de 600 Mbyte de memoria, en la que pueden grabarse textos, por ejemplo; para esta aplicación se emplea el llamado CD-ROM. Existe también un formato denominado CD-I (CD-Interactivo), destinado a aplicaciones «multimedia», que incluyen sonido, imágenes y programas de ordenador. Finalmente, el CD-V es un formato diseñado para manejar imágenes de video junto con audio de alta calidad.

Lecturas recomendadas

Pohlmann, K. (1985) *Principles of digital Audio*. Howard W. Sams and Co.
Pohlmann, K. (1991) ed. *Advanced Digital Audio*. Howard W. Sams and Co.
Pohlmann, K. (1989) *The Compact Disc*. Oxford University Press.
Rumsey, F. (1990) *Tapeless Sound Recording*. Focal Press.
Rumsey, F. (1991) *Digital Audio Operations*. Focal Press.
Watkinson, J. (1989) *El Arte del Audio Digital*. Focal Press. IORTV.
Watkinson, J. (1990) *Coding for Digital Recording*. Focal Press.

Capítulo 11

Tocadiscos

En plena era digital resulta completamente anacrónico el disco de vinilo, basado en el centenario principio de una afilada punta vibrando mecánicamente sobre un surco. Sin embargo, con este sistema se han logrado excelentes resultados y aún hay muchas existencias de grabaciones analógicas que contienen un valioso material, difícil de encontrar en un catálogo de discos compactos. En este medio se encuentra almacenada una rica variedad de efectos de sonido.

11.1 Principios

11.1.1 Corte y prensado de discos

Es necesario retroceder en el tiempo hasta 1931 para encontrar en la patente estéreo de Alan D. Blumlein los orígenes de las técnicas usadas para grabar dos canales de audio en un solo surco. Blumlein describió una «aguja cortadora caliente», también llamada aguja de corte o de grabación, que era gobernada por dos sistemas de bobinas e imanes, alimentados, a su vez, por los dos canales de una señal estéreo. Por este procedimiento se trazaría un surco sobre el acetato virgen, de forma tal que cada canal quede representado por los movimientos de la aguja de grabación, formando ángulos de 45° respecto a la vertical, como muestra la figura 11.1. La figura 11.2 representa la forma de tres tipos distintos de surco, resultantes de la acción de la aguja cortadora.

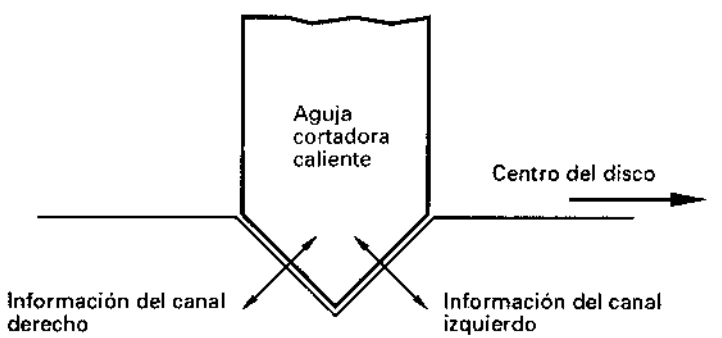


Figura 11.1 Movimiento de una aguja cortadora para grabación de discos estéreo.

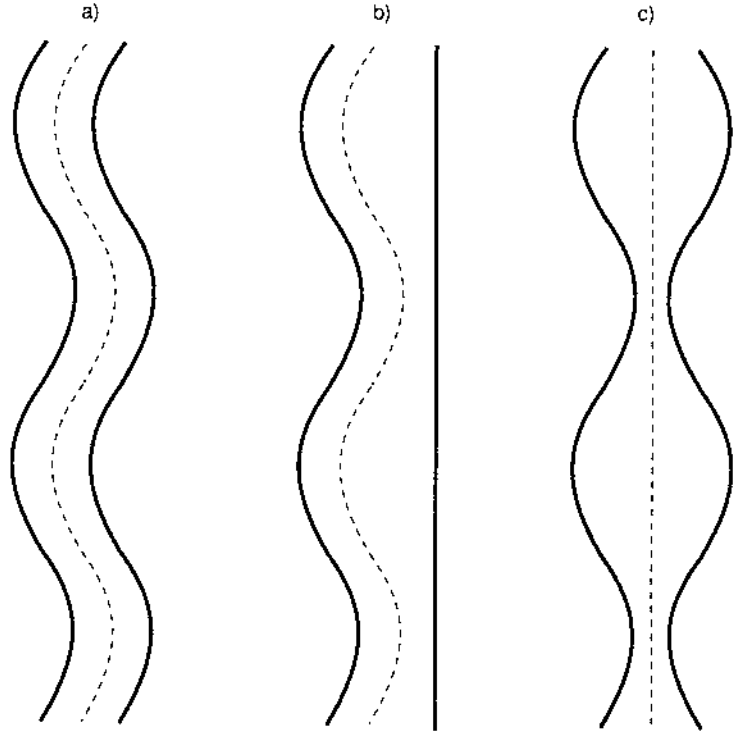


Figura 11.2 Tipos de surco.(a) Dos canales grabados en fase. (b) Un único canal grabado (c) Dos canales grabados en contrafase.

Después del corte se elaboran los moldes con los que se fabricarán los discos. Estos utilizan un tipo de vinilo co-polímero, que es una versión mucho más resistente que el acetato original y resulta más apropiado para reproducción. La aguja reproductora transmite la información del surco a un conjunto de bobinas e imanes dentro del cuerpo de la cápsula; esta información se transmite a través de un espárrago (pieza rígida alargada en uno de cuyos extremos está situada la aguja y por el otro está unido al resto de la cápsula). Las bobinas generan, a su vez, la salida eléctrica que podrá ser ahora amplificada y ecualizada. Volviendo nuevamente al surco, una señal en la pared izquierda provoca un movimiento de la aguja reproductora en la dirección de 45° respecto a la vertical. Una señal en la pared derecha, ocasiona un movimiento en la dirección de 45° contraria. Una señal mono mueve la aguja de lado a lado en la dirección paralela a la superficie del disco. Dos señales de igual amplitud pero en oposición de fase, generan un movimiento arriba/abajo, en la dirección perpendicular a la superficie del disco; este tipo de surco provoca a veces una mala lectura por parte de la aguja. Otro aspecto del movimiento de la aguja es que los desplazamientos laterales representan la señal mono (M), suma de los dos canales estéreo, mientras que los movimientos verticales, representan la información «diferencia» estéreo (S). (Ver Ficha Temática 4.5).

Los ingenieros encargados del proceso de corte del disco prestan especial atención a los desfases en la cinta magnética de la que se parte para la realización del corte. En la mayoría de los casos disponen de medios para procesar la cinta, atenuando algunos componentes de la señal, de tal manera que pueda reproducirse en la mayoría de los tocadiscos domésticos.

Otras señales que dificultan una lectura correcta de la aguja reproductora son las de baja frecuencia, sobre todo cuando están presentes en un solo canal y, por lo tanto, en una sola pared del surco. Conviene evitar, o al menos atenuar cuidadosamente, estas modulaciones tan grandes y relativamente lentas. El método usual consiste en mezclar de alguna manera ambos canales estéreo para frecuencias bajas, de forma que para éstas resulten unas paredes del surco más fáciles de seguir por la aguja.

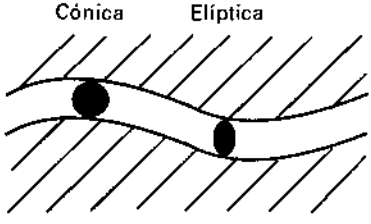
11.1.2 Mecánica del brazo y la cápsula

El movimiento de la aguja reproductora debería describir un arco de *offset* de 20° con respecto a la vertical, como muestra la figura 11.3. Esto se logra en el momento que la altura del brazo en su punto de apoyo esté ajustada de tal manera que el tubo permanezca paralelo a la superficie del disco, cuando la aguja esté sobre el surco. La punta de la aguja deberá tener un ángulo de 55°, como muestra la figura 11.4. El extremo de la aguja debe estar redondeado de manera que la punta no entre en contacto con el fondo del surco. La geometría de la aguja se trata en la Ficha Temática 11.1.

La geometría del brazo está pensada para que la línea axial longitudinal del cuerpo de la cápsula sea tangente al surco en el punto de apoyo de la aguja sobre éste. Esta tangencia debe cumplirse en los dos extremos de la superficie del disco: el surco más externo y la posición más interna, justo antes del surco de salida. La figura 11.5 ilustra esta idea. Nótese que el tubo del brazo está doblado para conseguir una correcta geometría. Otra posible opción es que el tubo sea completamente recto, variando el ángulo de la cápsula para conseguir el mismo resultado. El arco trazado entre las dos posiciones extremas de la aguja muestra el camino que recorre ésta cuando se desplaza a lo largo de toda la superficie horizontal del disco. Dado que el brazo tiene un punto de apoyo fijo, no es posible para la aguja mantenerse exactamente tangencial al surco durante todo el trayecto, pero puede lograrse un buen compromiso si se hace el ajuste para que este ideal se consiga en las dos posiciones que muestra la figura. Mediante un correcto diseño e instalación se puede lograr un error de trazada «tracking error» menor del ±1%, durante todo el recorrido de la aguja.

FICHA TEMÁTICA 11.1 Perfil de la aguja

Existen dos tipos básicos de secciones para las agujas reproductoras: cónica o elíptica (ver figura). Como puede verse, el perfil elíptico presenta una superficie de contacto más pequeña con las paredes del surco, de tal manera que para un peso de apoyo dado (fuerza ejercida por el brazo sobre la superficie del disco) el perfil elíptico ejerce más fuerza por unidad de superficie que la punta cónica. Para compensar esto, la aguja elíptica tiene una fuerza de apoyo menor que la de la aguja cónica. La menor superficie de contacto de la punta elíptica permite que los pequeños desplazamientos producidos por las altas frecuencias en las paredes de los surcos sean más fieles, al tener longitudes de onda menores. Esto es particularmente ventajoso al final de la cara del disco donde la longitud del surco se acorta cada vuelta, y por lo tanto la longitud de onda grabada es menor para una frecuencia dada. Prácticamente todas las agujas de alta calidad tienen un perfil elíptico o similar, aunque todavía puede verse algún que otro diseño cónico de alta calidad. La aguja de corte es, sin embargo, siempre cónica.



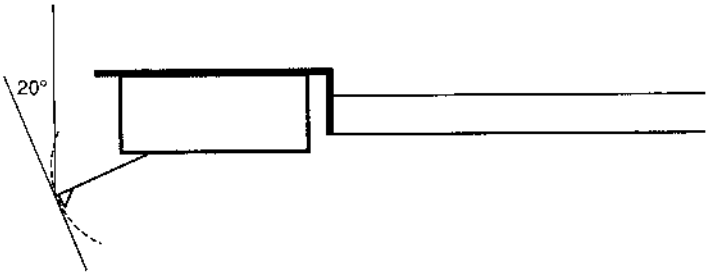


Figura 11.3 Geometría de seguimiento vertical de la aguja.

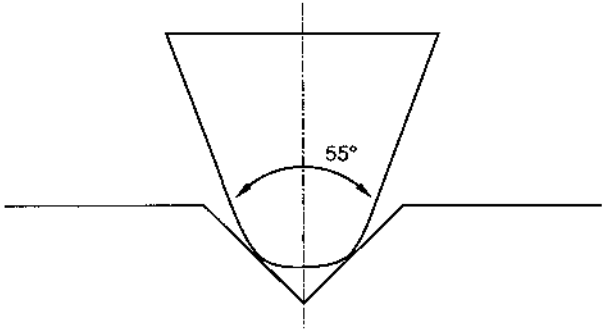


Figura 11.4 Ángulo cónico de la aguja.

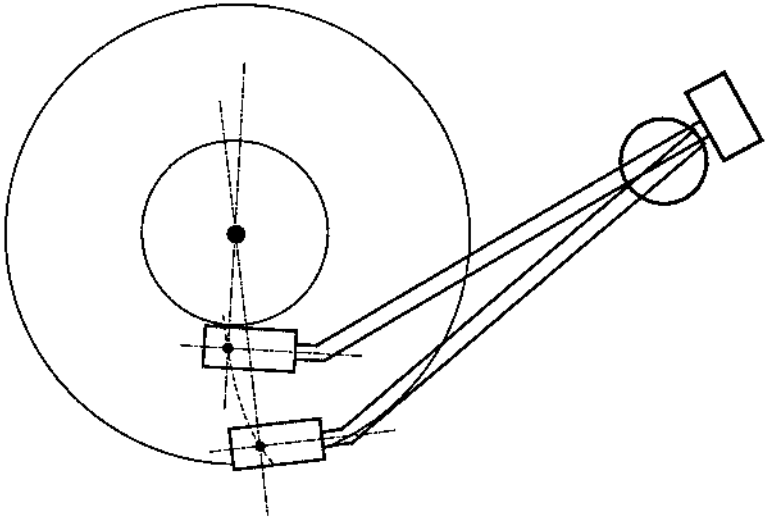


Figura 11.5 Se consigue un trazado correcto de la aguja cuando el eje longitudinal de la cápsula resulta tangente al surco.

Para facilitar el correcto ajuste del brazo pueden utilizarse los llamados transportadores de alineamiento. Tienen forma rectangular con un agujero próximo a uno de sus extremos, que encaja en el centro del eje del giradiscos cuando éste se encuentra parado. Hay una serie de líneas paralelas marcadas sobre esta especie de tarjeta rectangular (tangenciales a los surcos grabados) y dos puntos correspondientes a los surcos extremos, el exterior y el interior. La aguja se coloca a su vez sobre estos dos puntos, y la cápsula y el brazo se ajustan de tal manera que el eje longitudinal de la cápsula sea paralelo a las líneas del transportador.

La aguja de corte original se desplaza sobre el acetato en línea recta hacia el centro del disco, usando un soporte que no tiene un único punto de apoyo como el brazo reproductor y que, por lo tanto, puede ser completamente tangencial al surco a lo largo de todo su recorrido por el disco. El torno de corte está fabricado en un material pesado, para que se comporte como una plataforma estable y con mucha inercia. Existen algunos modelos de tocadiscos que imitan este sistema, para conseguir un error en el seguimiento del surco prácticamente nulo en reproducción. Las dificultades de ingeniería y de realización que supone implementar estos sistemas no se justifican cuando es posible disponer de brazos apoyados en un solo punto, con un diseño adecuado y que proporcionan resultados excelentes.

Una consecuencia de los brazos suspendidos sobre un punto de apoyo es que se ejerce un empuje lateral sobre la aguja durante la reproducción; este empuje tiende a provocar un deslizamiento durante todo el recorrido sobre la superficie del disco. Consideremos la figura 11.6. Supongamos en un principio que el disco no está girando y que la aguja simplemente está apoyada sobre el surco. Veamos ahora lo que ocurre cuando el disco comienza a girar en sentido de las agujas del reloj. La aguja comienza inmediatamente a ejercer una fuerza sobre la superficie del disco, según el sentido de la flecha indicada en la figura. Esta fuerza se dirige hacia el punto de apoyo del brazo, en lugar de ir paralela al punto de tangencia con el surco. El efecto resultante es que la aguja sufre una fuerza hacia el centro del disco que hace que aquélla presione más sobre la pared más interna del surco que sobre la pared externa. Por esta razón,

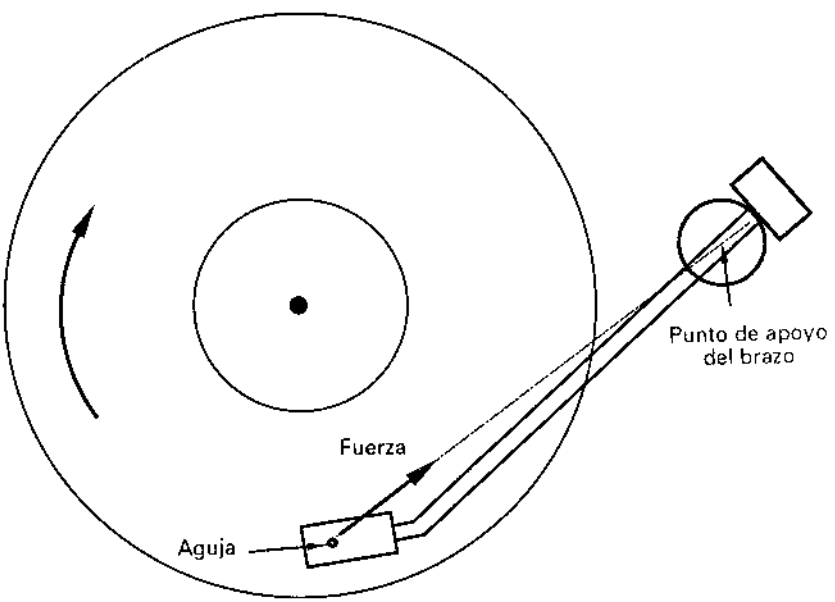


Figura 11.6 El movimiento de rotación del disco puede crear una fuerza que empuja al brazo hacia el centro del disco.

uno de los canales estéreo se lee más fielmente que el otro, y tanto la aguja como el surco se desgastan más por una cara que por la otra. Para evitar esto se añade al brazo un sistema de compensación de bias, conocido como «anti-skating» o antideslizamiento, que se coloca en el extremo del brazo más alejado de la aguja. Su función es ejercer sobre el brazo una fuerza que contrarreste su natural tendencia a desplazarse hacia el centro del disco. Esto puede lograrse por distintos procedimientos. Uno de ellos utiliza un sistema de imanes; otro, un pequeño peso y una cuerda enrollada sobre una polea, y construida de forma ingeniosa para que tire del brazo hacia afuera; otro emplea un sistema de pequeños muelles o resortes, etc. El grado de compensación que es necesario aplicar varía en función de las fuerzas a las que esté sometida la aguja, pero suele ser la décima parte de este valor (ver Ficha Temática 11.2).

La cápsula está alojada dentro de la carcasa y sujeta mediante dos pernos, separados entre sí una distancia estándar de media pulgada. Debe montarse de forma que sus dos laterales (si son paralelos, lo cual no siempre es cierto, debido a razones estéticas) sean paralelos a la línea imaginaria tangente con los surcos. En algún lugar de esta pieza debe existir una marca de referencia que pueda servir como orientación a la hora de alinearla con los surcos.

Aunque todas las cápsulas encajan en cualquier brazo -con excepción de un par de modelos especiales- debemos observar detalladamente las características de una y otro para poder determinar si son realmente compatibles. Con el fin de que pueda desplazarse con facilidad por el surco, el espárrago debe ir montado sobre un sistema de suspensión que le permita

FICHA TEMÁTICA 11.2

Peso de apoyo

El peso que hay que aplicar sobre la cápsula varía de un modelo a otro. El fabricante suele dar un pequeño margen de valores, por ejemplo: «1 ± 0'25 gramos», ó «1-2 gramos». El valor exacto debe ajustarse mediante sucesivos ensayos, con ayuda de un disco de prueba. En primer lugar el brazo y la cápsula se deben equilibrar para que aquel flote libremente en el aire en perfecta suspensión, sin subir ni bajar, y sin que la cápsula llegue a tocar la superficie del disco; o sea, fuerza de apoyo cero. Esto se logra desplazando ligeramente hacia uno u otro lado el contrapeso situado en el extremo del brazo más alejado de la cápsula, hasta conseguir el punto de equilibrio. El contrapeso se ajusta mediante una rosca practicada en el propio brazo. Este proceso debe llevarse a cabo con el sistema de compensación de bias desconectado.

Una vez logrado el punto de equilibrio se aplicará el peso correspondiente, ajustándolo para el valor medio dentro del margen de valores que recomienda el fabricante de la cápsula. Sobre el propio brazo suele ir grabada una escala graduada que ayuda en este proceso. A continuación se ajustará a su valor la compensación de bias, que tendrá así mismo la correspondiente escala graduada en el brazo, o bien una referencia en las instrucciones de ajuste. Un buen método para el ajuste de bias es el siguiente. En primer lugar se pone en marcha el giradiscos con un disco encima. A continuación se hace descender el brazo hasta que la aguja se sitúe sobre la parte más externa de la superficie del disco, en principio sin llegar a tocarla. Después se hace que la aguja se pose en medio de las primeras vueltas de surco (las que están más espaciadas entre sí); entre dos surcos. Un bias demasiado alto hará que el brazo se desplace hacia afuera antes de que la aguja entre en el surco. Un bias demasiado bajo desplazará al brazo en sentido contrario: hacia el centro del disco. El ajuste correcto de bias se tiene cuando el brazo se queda estacionario, hasta que el disco, en su giro, enganche a la aguja en el surco. A partir de este momento los valores óptimos de peso y de bias podrán determinarse con ayuda de un disco de prueba, y siguiendo las correspondientes instrucciones. Por regla general, cuanto mayor sea el peso sobre la cápsula mejor será el seguimiento que ésta haga de la información grabada en el surco, pero, al mismo tiempo, el disco sufrirá más desgaste. Por otro lado, si el peso es demasiado bajo se corre el riesgo de que la aguja salte de un surco a otro, lo que puede dañar la geometría de los surcos.

moverse en cualquier sentido con respecto al cuerpo de la cápsula. Esta suspensión debe tener una cierta elasticidad, o «compliancia», que se mide en (cm/dina) x 10^6 o, abreviadamente, en «cu» (unidades de compliancia). Esta medida indica cuántos centímetros (en realidad se trata de milímetros) se desplazará la aguja cuando se aplica sobre ella una fuerza de 1 dina. Los valores más bajos de compliancia pueden situarse alrededor de 8 cu. Las cápsulas con compliancias más altas alcanzan valores de hasta 45 cu. Lo más frecuente es encontrar valores de entre 10 y 30 cu. Este dato debe ir especificado en las características del transductor.

11.2 Ecualización RIAA

El surco de un disco es una réplica fiel de las ondas de sonido generadas por la fuente sonora. Este principio de funcionamiento supuso no pocos problemas en los primeros diseños. En los equipos más antiguos de grabación de discos la *velocidad* de la aguja de corte se mantenía más o menos constante con la frecuencia, para un determinado voltaje de entrada (lo que corresponde a una caída de amplitud con la frecuencia), excepto en el extremo de BF, donde la *amplitud* se vuelve más constante. Así pues, si no se ecualizan, las señales de baja frecuencia pueden provocar mayores excursiones de la aguja por ciclo que las señales de frecuencias altas, para una determinada velocidad de la aguja. Es bastante difícil que una aguja, dotada incluso de un buen sistema de suspensión, sea capaz de responder a unos desplazamientos tan grandes dentro del surco. Además, las frecuencias bajas ocupan más superficie, lo que puede limitar la capacidad del disco. Todas estas razones justifican la necesidad de realizar una ecualización que atenúe las bajas frecuencias antes de la estampación del disco.

El proceso actual de corte de discos hace uso de un estándar conocido como ecualización RIAA, que determina una respuesta en *velocidad* para la señal que se graba, sin tener en cuenta las características particulares de una u otra cabeza de corte. La ecualización eléctrica se utiliza para asegurar que la velocidad grabada responde a la curva de la figura 11.7 (a). Una cápsula magnética de reproducción tendrá un voltaje de salida proporcional a la *velocidad* de

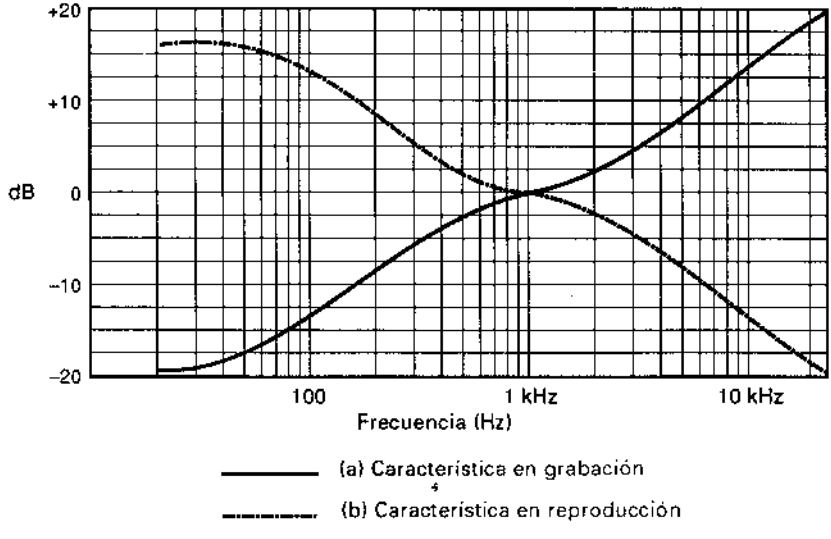


Figura 11.7 Curvas RIAA de grabación y reproducción.

la aguja (para una amplitud de surco constante, si no existiese ecualización su salida aumentaría con la frecuencia), de forma que su señal de salida debe ser ecualizada eléctricamente de acuerdo con la curva de la figura 11.7 (b), con el fin de obtener una respuesta global plana.

El preénfasis y el desénfasis en agudos de la curva de reproducción RIAA tiene el efecto de reducir el ruido superficial de AF. Una recomendación adicional es eliminar las frecuencias más bajas, por debajo de 20 Hz, en reproducción (constante de tiempo 7960 μs) para filtrar cualquier ruido subsónico de origen mecánico «rumble» y cualquier otra interferencia de BF no relacionada directamente con el programa principal. La cápsula necesita estar sujeta mediante un anclaje pensado para este propósito específico. Con ayuda los correspondientes circuitos electrónicos se llevará a cabo tanto la ecualización que acabamos de mencionar como la amplificación de la señal captada por la cápsula.

11.3 Tipos de cápsulas

La inmensa mayoría de las cápsulas de tocadiscos en uso son del tipo de imán móvil, lo que significa que el espárrago dispone de unos pequeños pero potentes imanes unidos a él, muy próximos a las bobinas de salida. Cuando la aguja mueve el espárrago hacia uno y otro lado, los imanes móviles inducen una corriente en las bobinas; esta corriente constituye la señal de salida. La resistencia de las bobinas (la del propio hilo que las forma) puede ser de varios cientos de ohmios, y la inductancia de varios cientos de milihenrios (mH). La impedancia de salida es, por tanto, de valor «medio», y aumenta con la frecuencia debido al efecto de la inductancia. El nivel eléctrico de salida depende de la velocidad con la que se mueve la aguja. Así, para un surco cortado con una desviación constante, el nivel de salida de la cápsula crecerá con la frecuencia a razón de 6 dB por octava. La velocidad de los movimientos de la aguja

FICHA TEMÁTICA **11.3** Diafonía

Existe diafonía entre dos canales estéreo debido, en parte, al hecho de que las dos señales están presentes en el mismo surco del disco, y en parte también como consecuencia de la estrecha proximidad de las componentes eléctricas en el propio cuerpo de la cápsula. Un brazo o una cápsula que no estén correctamente ajustados serán la causa de que la aguja no asiente perfectamente dentro del surco, lo que puede degradar también la característica de diafonía. Para la banda de frecuencias medias las cápsulas ofrecen cifras de diafonía del orden de 25 - 30 dB, lo que significa que una señal que esté presente en una canal aparecerá también, 25 - 30 dB más débil, en el otro canal. A frecuencias muy bajas la separación entre canales empeora ligeramente, situándose en los 10 -20 dB. Esto se debe a la excitación que produce la resonancia del conjunto brazo/cápsula, que tiende a acoplarse con ambos canales al mismo tiempo. Para las frecuencias más altas de la banda de audio la cifra de diafonía puede situarse en 10 dB (bastante pobre), debido en este caso a la resonancia del conjunto aguja/vinilo, que tiende a acoplarse también con ambos canales. No deberían aceptarse valores inferiores a los mencionados anteriormente. Además de conocer este dato, se lleva a cabo una comprobación adicional para verificar si la diafonía del canal izquierdo sobre el derecho es sustancialmente la misma que la del derecho sobre el canal izquierdo; en caso contrario, es síntoma de que existe una incorrecta alineación de las componentes internas de la cápsula.

A pesar de estas cifras de diafonía tan relativamente bajas, es posible obtener muy buenas imágenes estéreo en este soporte de grabación, puesto que la diferencia de nivel necesaria entre los dos canales para que un sonido se sitúe aparentemente por completo en uno de los lados (izquierdo o derecho) es de tan solo unos 18 dB.

con respecto a un surco sin modular se mide en cm s^{-1}. Los niveles de salida típicos de las cápsulas de imán móvil son del orden de 1 mV cm^{-1} s^{-1}.

Un pasaje musical medio produce señales de salida de varios milivoltios, pudiendo llegar hasta 40 ó 50 mV de forma esporádica y, generalmente, en frecuencias medias. Debido a la curva de grabación RIAA la señal de salida se reducirá para frecuencias bajas, si bien esto no ocurre necesariamente en la misma medida para las frecuencias altas. Ello es debido al menor contenido de potencia en la música a medida que aumenta la frecuencia. Se ha adoptado como impedancia el valor de 47 kΩ, correspondiente al de una entrada RIAA. Para elevar la señal hasta el nivel de línea a frecuencias medias se necesita una ganancia del orden de 40 dB (x 100).

Otro tipo de cápsula, que resulta más difícil de encontrar pero que tiene una fuerte presencia en los círculos de audio de alta calidad, es la de bobina móvil. En este caso el espárrago está unido a las bobinas en lugar de a los imanes, estando estos fijos dentro del cuerpo de la cápsula. Este tipo de cápsulas tienden a dar salidas de nivel mucho menor que sus parientes de imán móvil, porque la necesidad de mantener en un valor bajo la masa de la bobina obliga a utilizar un reducido número de espiras. Esto justifica también su baja impedancia de salida (desde unos pocos ohmios hasta llegar a la centena) y una inductancia despreciable. Precisan 20 ó 30 dB más de ganancia que las de imán móvil. Esto se consigue normalmente por medio de un amplificador separado o de un transformador elevador, si bien no son pocos los amplificadores «hi-fi» de alta calidad que disponen de una entrada para bobina móvil. La impedancia de una entrada de este tipo está alrededor de los 100 Ω.

Existen también algunas cápsulas de bobina móvil que ofrecen salidas de «alto nivel», unos 10 dB por debajo de las correspondientes a imanes móviles. Estos modelos pueden utilizarse, por lo general, conectándolos directamente a las entradas normales de cápsula, sin necesidad de un preamplificador adicional.

En ocasiones se han utilizado cápsulas basadas en algún otro principio de funcionamiento, sin bien la única que podría encontrarse hoy en día sería la cápsula cerámica, que se emplea a veces para los equipos de más baja calidad. Está hecha de un material cerámico especial, capaz de entregar una salida eléctrica cuando actúa sobre él una presión. Un dispositivo de este tipo ofrece un nivel de salida mucho más alto que los de imán móvil. Así mismo, su salida es proporcional al desplazamiento (o amplitud del surco), en lugar de a la velocidad. De esta forma, la respuesta en frecuencia que resulta tiende a compensar las características de grabación RIAA. Aunque su calidad de reproducción no es muy alta, puede considerarse lo suficientemente buena como para obviar la necesidad de una etapa especial de entrada RIAA; en su lugar, basta con un amplificador de relativamente baja ganancia.

En una cápsula de tocadiscos puede aparecer el fenómeno de la diafonía; este concepto se discute en la Ficha Temática 11.3.

11.4 Cables de conexión en un tocadiscos

Debido a la naturaleza inductiva de la impedancia de salida de una cápsula de imán móvil, ésta resulta sensible a la capacidad presente en los cables de conexión, así como a la de la propia entrada del amplificador. Esta capacidad total aparece de hecho en paralelo con la salida de la cápsula, formando un circuito resonante con la inductancia de ésta. Es la característica en alta frecuencia de la cápsula la que se ve afectada por este comportamiento, y ello obliga a ajustar la capacidad total para obtener la mejor respuesta. Una capacidad demasiado baja produce una respuesta en frecuencia que tiende a caer varios decibelios por encima de los 5 kHz, aproximadamente, creciendo de nuevo bruscamente alrededor de los 18 - 20 kHz, hasta alcanzar un pico de 2 - 3 dB con respecto a la banda media. Esto es el resultado de la frecuencia de resonancia del interfaz aguja/disco; el valor exacto depende de la masa de la pun-

ta. El hecho de añadir más capacidad eleva el «valle» de 5 - 10 kHz, al mismo tiempo que reduce el pico de resonancia debido a la masa de la aguja, suavizando de esta forma la curva de respuesta en frecuencia. Demasiada capacidad produce una atenuación de las frecuencias más altas, resultando un sonido más apagado.

El valor óptimo de la capacidad diferirá de un modelo a otro de cápsula, pero está siempre en el orden de picofaradios (pF). El cableado que conecta el brazo con el amplificador puede tener una capacidad típica de 100 pF por metro, a la que debe añadirse la capacidad propia de la entrada del amplificador, que estará, por lo general, ligeramente por debajo de los 100 pF. Las especificaciones del fabricante deben incluir el valor exacto. La capacidad total en paralelo debida a estas dos fuentes, vista desde el lado de la cápsula, estará, por tanto, alrededor de 200 pF. Este es un valor demasiado bajo para muchas cápsulas de imán móvil, lo que obliga a añadir una capacidad extra. Si el fabricante de la cápsula no especifica ningún requerimiento en cuanto a dicha capacidad, deberá encontrarse experimentalmente. Un disco de prueba en el que se ha grabado ruido rosa puede resultar muy útil para este propósito. Con un poco de práctica resulta bastante sencillo apreciar «a oído» si la salida de la cápsula cae a unas determinadas frecuencias altas, acompañada esa caída de un pico en el extremo superior del espectro. En la zona superior del espectro puede oírse una especie de «agujero». El hecho de añadir más capacidad «llena» este agujero, proporcionando un sonido continuo y suave sobre el ruido rosa. Demasiada capacidad produce atenuación de las frecuencias más altas, dejando el sonido más distante y menos «vivo».

Por regla general se ensaya con capacidades totales de unos 300 - 400 pF. Resulta más práctico añadir capacidad, haciendo uso para ello de conectores especiales que llevan incorporados pequeños condensadores. Supongamos que ya existe una capacidad de 200 pF, y que probamos añadiendo en primer lugar 100 pF y después 200 pF. Como alternativa se pueden comprar pequeños condensadores de poliestireno y soldarlos entre los hilos de señal y de tierra en los cables internos de los conectores macho o hembra. En ocasiones se recuerda este hecho mediante etiquetas pegadas en la propia base del tocadiscos. No soldar NUNCA directamente sobre las patillas de la cápsula, pues ésta puede dañarse muy fácilmente por esta práctica.

La longitud de cable entre el giradiscos y el amplificador no debería ser mayor de un metro, aproximadamente, puesto que los cables largos presentan excesivos valores de capacidad y resultan susceptibles de interferencias. Conviene recalcar que cuando se hace una ecualización de la cápsula mediante escucha directa se está ecualizando en realidad el conjunto cápsula/amplificador/altavoz. Cualquier cambio en uno de estos tres elementos debería ir acompañado de la correspondiente reecualización de la cápsula.

Las cápsulas de bobina móvil tienen una impedancia de salida muy baja y una inductancia despreciable; en consecuencia, su respuesta en frecuencia no se ve afectada por la capacidad. Algunos operadores han notado, no obstante, que la calidad subjetiva del sonido puede mejorarse añadiendo en paralelo valores bastante altos de capacidad (según modelos), del orden del nanofaradio (1 nanofaradio, 1 nF, equivale a 1000 pF). Esto puede determinarse únicamente de forma experimental.

11.5 Diseño del brazo

Las principales características de un brazo son su longitud, masa efectiva y el rozamiento de los cojinetes, tanto en vertical como en horizontal. La longitud estándar está alrededor de los 23 cm (9 pulgadas). Existe algún que otro modelo de 30 cm (12 pulgadas), que pueden presentar menos errores de seguimiento de surco, debido simplemente a su mayor longitud; sin embargo, su masa efectiva es más elevada. La masa efectiva es la masa inercial que soporta la aguja debido al brazo y a su contrapeso. No se trata, por tanto, simplemente del peso del brazo en su conjunto. Los valores de masa efectiva del brazo se sitúan entre 6 y 25 g, aproxi-

madamente. Los equipos de buena calidad están, generalmente, en valores intermedios, siendo diseñados para obtener un buen compromiso entre una masa efectiva razonablemente baja y una adecuada rigidez. El valor de la masa efectiva del brazo viene dado por el fabricante, y su relevancia se analizará más adelante. En la figura 11.8 se representa un ejemplo de brazo fonocaptor.

El punto de apoyo del brazo puede ser de varios tipos: el denominado *ball races*, el de rodamientos de «filo de cuchillo», el conocido como «unipivot» (que consiste en un único vástago vertical, parecido a un clavo, sobre el que se apoya el brazo), la suspensión por medio de un hilo, etc. En cualquiera de los casos, es el rozamiento que sufre la aguja lo que realmente importa, junto con un funcionamiento consistente y estable. El rozamiento horizontal debería estar por debajo de 80 mg (miligramos). O sea, que se requieran menos de 80 mg de fuerza para mover continuamente el brazo. El rozamiento vertical es, por lo general, inferior a este valor, y debería situarse por debajo de 30 mg. De no ser así la aguja tendrá que soportar condiciones de trabajo duras para desplazar el brazo de un lado para otro sobre la superficie del disco. Así mismo, rozamientos con valores superiores a estos hacen inútil cualquier sistema de compensación de bias.

La masa efectiva, unida a la compliancia de la suspensión de la cápsula, forman un sistema resonante, cuya frecuencia debe procurarse que sea lo suficientemente baja para que no caiga dentro del espectro de audio. Al mismo tiempo, debe ser lo suficientemente alta para evitar que coincida con las frecuencias propias de las ondulaciones de la superficie del disco o con cualquier otro disturbio de BF; de no ser así podría excitarse la resonancia, provocando un seguimiento más inseguro de la aguja dentro del surco e, incluso, saltos de surco. En ocasiones, durante la reproducción del disco, tienen lugar grandes desplazamientos de los conos de los altavoces de graves. Esto es el resultado de una salida de muy baja frecuencia, no relacionada con el programa, y que es consecuencia, a su vez, de una mala adaptación brazo/cápsula.

Existe una fórmula bastante sencilla que permite calcular esta frecuencia para una determinada combinación de brazo y cápsula; conviene que su valor ronde los 10 - 12 Hz:

$$f = 1000/(2\pi\sqrt{(MC)}),$$

donde f es la frecuencia de resonancia en hercios, M la masa efectiva del brazo + masa de la cápsula + masa de toda la estructura asociada (tornillos, tuercas, arandelas) en gramos, y C es la compliancia de la cápsula en unidades de compliancia (cu).

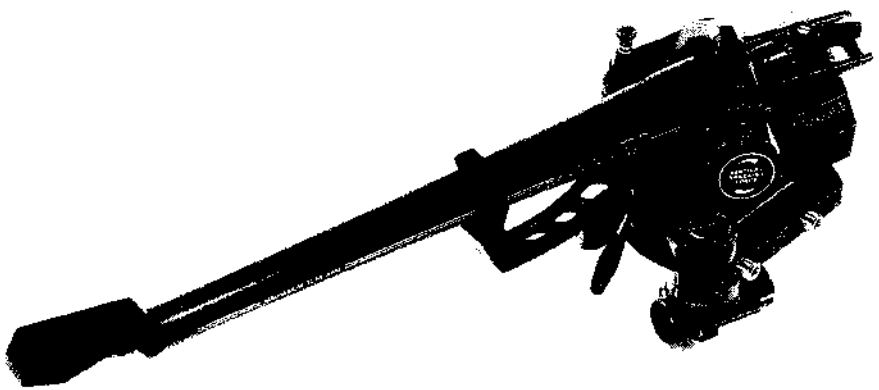


Figura 11.8 Brazo fonocaptor SME Serie V (Cortesía de SME Ltd.).

Considérese, por ejemplo, una cápsula con un peso de 6 g y una compliancia de 25 cu. Supongamos también un brazo con una masa efectiva de 20 g y un peso extra de la estructura asociada de 1 g. La frecuencia de resonancia será, por tanto, de 6'2 Hz. Esta cifra está por debajo del valor óptimo, y una combinación de este tipo podría provocar un funcionamiento incorrecto. Ello es debido a que esta resonancia podría ser excitada por vibraciones mecánicas, como las de los pasos de personas sobre el suelo, las ondulaciones del propio disco o vibraciones procedentes del sistema de engranajes del giradiscos. Además, la «suave» compliancia de la cápsula tendrá, en este ejemplo, dificultad para poder con la gran masa efectiva del brazo: la aguja variará continuamente su posición dentro del surco a medida que la inercia del brazo tiende a doblar excesivamente la suspensión de la cápsula; es como si el brazo «dominase» a la cápsula.

Si suponemos la misma cápsula acoplada ahora a un brazo de 8 g de masa efectiva, la nueva frecuencia de resonancia será f = 8'4 Hz. Está bastante próxima al ideal y podría ser aceptable. Este ejemplo ilustra perfectamente la necesidad de utilizar brazos de poca masa cuando nos encontramos con valores altos de compliancia. La resonancia tiende a tener un Q alto, con una curva muy pronunciada, lo que subraya la necesidad de mantener la frecuencia dentro del margen apropiado. Algunos brazos disponen de un sistema de amortiguación en forma de paleta unida al brazo, que se mueve dentro de un fluido viscoso; existen distintas configuraciones alternativas que pueden conseguir el mismo efecto. Esta amortiguación reduce, de alguna manera, la amplitud de la resonancia, lo que ayuda, a su vez, a estabilizar el funcionamiento del sistema. La amortiguación no puede usarse, sin embargo, para solucionar los efectos de una frecuencia de resonancia que no esté dentro de los valores óptimos. Debe elegirse con sumo cuidado.

11.6 Diseño del giradiscos

11.6.1 Mecanismos de arrastre

Las dos características principales en lo que se refiere al giradiscos propiamente dicho son el denominado «ronquido» (en inglés *rumble*), o vibración de BF, y lo que se conoce como lloro y fluctuación (*wow and flutter*). El ronquido es hoy un efecto del pasado, y no debería aparecer ni en el tocadiscos más modesto. En caso de existir, las causas estarán, probablemente, en los rodamientos principales situados en el centro de un plato giradiscos mal diseñado o mal fabricado. Si es éste el caso, habrá movimientos capaces de transmitir vibraciones de baja frecuencia hacia el disco y, por tanto, hacia la aguja. Otra causa puede ser el ruido de BF originado por el motor de arrastre, en caso de no estar correctamente desacoplado del plato giratorio.

Un método de arrastre del plato que ha sido bastante popular consistía en el uso de una «rueda loca», o polea, con un diámetro de unos 3 cm, colocada entre la cara interna del can-

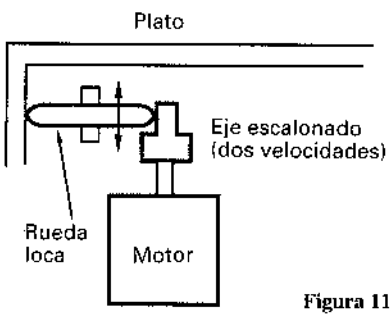


Figura 11.9 Sistema de tracción de giradiscos mediante una rueda loca o polea.

FICHA TEMÁTICA 11.4 Lloro y fluctuación

El lloro, o «wow» (ver sección A1.6), puede deberse a que el agujero del disco no esté perfectamente centrado, o a deficiencias en el funcionamiento del motor/correa en los giradiscos de tracción por correa. La fluctuación, o «flutter», aparece generalmente en giradiscos de tracción directa que tienen platos de peso inadecuado, con insuficiente efecto de volante inercial. Un plato robusto es un buen método para ayudar a evitar estas variaciones de velocidad «a corto plazo», debido a las buenas características del momento de inercia del propio plato. Algunos diseños van aún más lejos, concentrando el metal del que esté fabricado el plato en el perímetro de éste, con el fin de incrementar el efecto inercial para una determinada masa total del plato. A veces el culpable es el mal estado de la correa. El remedio en este caso consiste en una cuidada limpieza, tanto de aquella como de las poleas, así como de la unión con el soporte del plato, alrededor del cual se desplaza la correa. Esta limpieza debe hacerse con agua ligeramente jabonosa, seguida de un cuidadoso secado de todas las partes. No conviene tocar la correa con los dedos, pues la propia grasa de la piel podría provocar deslizamientos indeseados.

to del plato y el eje del motor de arrastre. Este eje tenía además diferentes diámetros para conseguir las distintas relaciones de rotación necesarias para cada velocidad de reproducción, según se muestra en la figura 11.9. Esta técnica era muy utilizada en equipos de la gama baja del mercado, pero la relativa falta de desacoplo entre el motor y el plato, debido al contacto mutuo que proporciona la goma de la rueda loca, genera un pobre comportamiento en cuanto al «ronquido». Sin embargo, llegaron a existir algunos modelos de alta calidad que demostraron que un diseño esmerado puede lograr buenos resultados.

En la actualidad los dos métodos principales de arrastre del plato giradiscos son la tracción directa y la tracción mediante correa. Los modelos de tracción por correa emplean una banda elástica, lisa y bastante grande, que se desplaza, por un lado, alrededor de una polea situada en el eje del motor de arrastre, y por otro alrededor de un soporte de gran diámetro sobre el que se apoya el plato; otras veces, incluso, la correa rodea al propio plato. Poleas de diferentes tamaños proporcionan diferentes velocidades de reproducción. La naturaleza elástica de la correa de goma desacopla el motor del plato, obteniéndose un muy bajo nivel de ruido de arrastre, o «ronquido». El plato es, por regla general, de construcción sólida, para que tenga un buen efecto volante que asegure una rápida estabilidad en su giro.

El giradiscos de tracción directa se caracteriza por utilizar un motor relativamente grande, de baja velocidad, cuyo eje de tracción constituye el eje del propio giradiscos, y actúa de forma directa sobre el giro del plato. El cambio de una velocidad a otra se hace electrónicamente. Los primeros modelos hacían uso de platos extremadamente ligeros, de forma que el motor tenía una carga muy baja frente a la aceleración, que le permitía obtener rápidamente la velocidad de rotación correcta. Desgraciadamente, la relativa falta de efecto volante inercial era la causa de su baja estabilidad de rotación «a corto plazo». Tanto es así, que incluso el rozamiento de la aguja en las zonas del surco con mayor modulación tenía un pequeño, pero audible, efecto sobre la estabilidad.

Para el control de la velocidad se utilizaron distintos servosistemas que, si bien funcionaban correctamente cuando la señal a reproducir era una onda senoidal continua y estable procedente de un disco de prueba, acusaban el efecto durante un programa musical, pues el rozamiento de la aguja variaba continuamente. Un servosistema puede actuar solo cuando se haya detectado un cambio en la velocidad, por lo que, normalmente, es ya demasiado tarde. Resultó ser, por tanto, un mecanismo de «caza» continua, cuyo funcionamiento debía ser mejora-

do. Los modelos posteriores han sido diseñados con mejores criterios, ofreciendo también mejores resultados. Hoy día los servosistemas necesitan asegurar únicamente la estabilidad «a largo plazo». El hecho de que el motor esté acoplado al plato exige una buena ingeniería de diseño si quiere evitarse el efecto de los ruidos de arrastre.

11.6.2 Zumbido inducido

Los motores generan campos magnéticos que pueden llegar a inducirse en la cápsula si ésta no está bien apantallada. Este tipo de inducción se manifiesta como un zumbido de baja frecuencia que llega a reproducirse por los altavoces. El refuerzo en graves necesario para la curva de ecualización RIAA pone de manifiesto este problema. El zumbido se incrementa a veces a medida que la cápsula se desplaza hacia el centro del disco, por ser éste un lugar más próximo al motor. Si esto ocurre, se suele echar la culpa a la cápsula por su falta de un adecuado apantallamiento, aunque a veces puede comprobarse que la causa es un incorrecto cableado de aquella. Las patillas de conexión de la parte trasera de la cápsula deben estar correctamente identificadas, conectadas cada una de ellas mediante *clemas* a su correspondiente cable procedente del brazo. Cada cable debe ir identificado, así mismo, mediante un código de colores como el que se indica a continuación: canal izquierdo, blanco; masa del canal izquierdo, negro; canal derecho, rojo; masa del canal derecho, verde.

Además de esto, el sistema de giradiscos, o el propio brazo, tendrá un cable de tierra -independiente de los anteriores- que debería conectarse a un terminal especial del amplificador, destinado para este propósito. Su misión es llevar a tierra las partes metálicas del giradiscos y/o brazo y atenuar cualquier zumbido interferente que pudiera aparecer. Si, tras la conexión de este cable, la cápsula produce aún zumbido continuo de BF, puede tratarse de un lazo de tierra debido tanto al tocadiscos como al amplificador, a través de la masa común de alimentación. La solución consiste en desconectar del enchufe de alimentación el cable de masa del tocadiscos, uniéndolo a continuación a una parte metálica del amplificador, como medida de seguridad. Esta situación, de ocurrir, debería hacerlo en contadas ocasiones, debido a la concienciación de los fabricantes sobre este tipo de problemas. Si la cápsula presenta todavía zumbido, y el nivel de éste varía con la posición relativa de aquella sobre el disco, la cápsula no se encuentra perfectamente apantallada y no es compatible con ese giradiscos en particular.

11.6.3 Montaje del giradiscos

Debido al hecho de que durante la reproducción la aguja descansa sobre una superficie bastante ligera y de gran diámetro -léase disco- el tocadiscos es susceptible de acusar una realimentación acústica. Esta se debe a que el sonido procedente de los altavoces provoca vibraciones en el sistema de reproducción, que son captadas por la aguja y reproducidas de nuevo por los altavoces; de ello resulta una coloración del sonido. En casos extremos, si la aguja está apoyada sobre un disco que permanece estacionario y se ajusta un volumen de reproducción muy alto, puede llegar a inducirse un zumbido continuo debido a que tiene lugar una realimentación positiva. Es posible que aparezca también una realimentación a través de la propia estructura del giradiscos, que produce el mismo resultado, y que es consecuencia de las vibraciones que pueda sufrir la plataforma sobre la que descansa el tocadiscos. Por todas estas razones el altavoz nunca debe colocarse sobre la misma plataforma, estante, etc. que el giradiscos. Siempre que los altavoces estén emplazados en la misma sala que el tocadiscos existirá, en mayor o menor grado, una pequeña realimentación.

Algunos modelos de tocadiscos de alta calidad hacen uso de un subchasis flotante, de forma que el brazo y el plato están montados en una plataforma separada dentro del zócalo o pea-

na; esta plataforma estará suspendida mediante un sistema de muelles que la aísla del entorno. Con esta medida puede lograrse una buena resistencia tanto frente a la realimentación acústica como frente a las vibraciones mecánicas. Se conseguirá una situación óptima si la frecuencia de resonancia del sistema de suspensión queda por debajo de las frecuencias que se reproducen, así como de las de cualquier vibración mecánica. Por lo tanto, para que un sistema de suspensión sea capaz de aislar el subchasis de cualquier vibración que esté por encima de su propia frecuencia de resonancia, se requieren resonancias del subchasis del orden de 4 ó 5 Hz. Es absolutamente fundamental que esta frecuencia de resonancia esté, al menos, varios hercios por debajo de la resonancia del conjunto brazo/cápsula. Este tipo de tocadiscos resultan muy delicados debido a la elasticidad del sistema de suspensión. Deben manejarse con cuidado cuando la aguja se está posando sobre el surco, o cuando se cambia de disco, por ejemplo. Este es un compromiso ergonómico que tiene sentido por las buenas prestaciones que se consiguen en cuanto a calidad de audio, como se ha puesto de manifiesto con los distintos diseños de sistemas de subchasis flotante. La esterilla sobre la que se apoya el disco debe estar libre de toda irregularidad o adorno en su superficie, con el fin de que el contacto con el disco sea máximo. Esto ayuda a amortiguar las posibles vibraciones del propio disco debido a la realimentación acústica y al efecto denominado de «aguja parlante», que consiste en el sonido producido mecánicamente por la propia aguja en su desplazamiento sobre el surco.

11.6.4 Tocadiscos profesionales

En un tocadiscos profesional, como el que se representa en la figura 11.10, tratarán de evitarse los defectos mencionados anteriormente. En este caso es esencial un funcionamiento preciso y seguro de la aguja, capaz de posarse rápidamente sobre el surco y comenzar a reproducir de forma inmediata. Si se pretende lograr esto, debe ser rechazada cualquier suspensión demasiado elástica o propensa a los rebotes. Un tocadiscos destinado a radiodifusión deberá permitir la lectura en sentido inverso; o sea, con la aguja apoyada sobre el disco, éste podrá moverse hacia atrás para encontrar un punto exacto donde deba comenzar la reproducción. Para ello, el sistema de suspensión de la cápsula debe estar especialmente diseñado para resistir este trato: una cápsula normal, de las utilizadas en un equipo de alta fidelidad, resultaría dañada fácilmente. Por otro lado, el giradiscos debe alcanzar la velocidad de reproducción casi instantáneamente, para que no pueda llegar a oírse el efecto de lloro al incrementar la velocidad o al arrancar. Un tocadiscos robusto de tracción por correa necesita, normalmente, varios segundos para situarse en la velocidad correcta, lo que resulta inaceptable para el trabajo de un «pinchadiscos». Los tocadiscos profesionales trabajan, por tanto, con el principio de tracción directa, con un motor de par alto capaz de conseguir en una fracción de segundo que un plato de masa media acelere hasta alcanzar la velocidad de reproducción. Algunos modelos cortan la señal de audio de salida hasta que se ha conseguido una velocidad estable, de manera que no haya posibilidad de que llegue a notarse el efecto de lloro mencionado anteriormente. La realimentación a través de la propia estructura del equipo se evita haciendo uso de platos pesados, diseñando un sistema de giradiscos de mucho peso para que su propia inercia sea resistente a la vibración. Algunos tocadiscos «Hi-Fi» emplean también esta técnica.

Debido al trato violento a que están sujetos los tocadiscos profesionales, se utilizan a menudo cápsulas «duras», de baja compliancia, junto con brazos de construcción robusta. Es frecuente encontrar fuerzas de apoyo mayores de 2 gramos. Disponen a veces de su propia circuitería incorporada, de forma que las salidas son a nivel de línea y balanceadas. Algunos emplean sistemas de suspensión por muelles, que pueden tener una frecuencia de resonancia de, al menos, 50 Hz; este valor resulta de todo punto inaceptable, puesto que es en el giradiscos donde es necesario rechazar las frecuencias bajas procedentes de los altavoces, los ruidos

Figura 11.10 Ejemplo de tocadiscos profesional: el EMT 948 (Cortesía de FWO Bauch Ltd.).

de pasos sobre un suelo de madera o cualquier otro disturbio accidental que pueda sufrir la plataforma sobre la que descansa el tocadiscos. Los sistemas profesionales, por tanto, logran aislarse del entorno en el que se encuentran gracias a su masa relativamente alta, como se ha dicho anteriormente.

La armadura de la cápsula deberá ser desmontable, de manera que si se daña la aguja, pueda reemplazarse rápidamente la cápsula completa, sin pérdida de tiempo. Debido a su capacidad para reproducir en sentido contrario, las agujas de los tocadiscos profesionales no son, por regla general, desmontables, como ocurre con las cápsulas domésticas de imán móvil. Las cápsulas desmontables suponen un compromiso en cuanto a rigidez del brazo, pero no cabe duda que resultan interesantes en usos profesionales.

Los distintos compromisos y limitaciones que debe contemplar el tocadiscos profesional, comparado con su pariente doméstico, no hacen al primero inferior en términos de calidad de sonido, debido principalmente al hecho de que los modelos profesionales se diseñan con sumo cuidado (resultan bastante caros) para evitar, precisamente, que esos inconvenientes teóricos afecten a la calidad del sonido más de lo estrictamente necesario.

11.7 Lectores láser

La idea de leer un surco de un disco mediante un haz láser en lugar de con una aguja fue discutida durante mucho tiempo, hasta que en 1990 vio finalmente la luz un lector basado en esta técnica. Es una proposición bastante atractiva para archivos de discos, puesto que el desgaste del disco pasa a ser un concepto de tiempos pasados. Sin embargo, un haz láser no limpia el surco de partículas de polvo como lo hace una aguja; de ahí la necesidad de utilizar discos

completamente limpios, para evitar que existan pérdidas de señal en la lectura. Se emplean en realidad dos haces láser completamente independientes, cada uno encargado de leer la información correspondiente a cada pared del surco. Incorporan un circuito de cancelación de errores, que elimina los efectos de los arañazos sobre la superficie del disco. A medida que nos desplazamos hacia el centro del disco, las longitudes de onda grabadas ocupan un area del surco proporcionalmente menor que en el caso del perímetro del disco; la anchura del haz láser puede suponer un obstáculo a la hora de leer estas señales de AF y de gran amplitud. La respuesta en frecuencia del lector cae, por tanto, alrededor de 10 dB si las frecuencias más altas al final de cada cara son de mucha amplitud.

Este tipo de tocadiscos incorpora funciones similares a las de un lector de CD –como pueden ser la pausa, repetición de una pista o búsqueda de pista–, que pueden resultar muy útiles. El lector por láser no sufre los inconvenientes de un tocadiscos tradicional, tales como la resonancia en BF del conjunto brazo/cápsula, el ruido de arrastre o el *wow and flutter*. Debido a su precio elevado no resulta demasiado atractivo, siendo el usuario profesional el principal cliente potencial.

Lecturas recomendadas

AES (1981) *Disk recording - An Anthology*, Vol. 1 y 2. Audio Engineering Society.
BS 7063. British Standards Office
Earl, J.(1973) *Pickups and Loudspeakers*. Fountain Press
Roys, H.E.(1978) ed. *Disk Recording and Reproduction*. Dowden, Hutchinson y Ross

Véase también *Lecturas generales recomendadas* al final de este libro.

Capítulo 12

Amplificadores de potencia

Los amplificadores de potencia son dispositivos bastante irrelevantes. Suelen ser muy voluminosos y pesados, y lo único que dejan ver hacia el exterior son unos cuantos conectores de entrada y salida. Debido a que se tiende a ignorarlos, es por lo que tiene la máxima importancia que sean elegidos y usados con sumo cuidado. Aunque se presentan en una gran variedad de formas, tamaños y «generaciones», todos ellos tienen en común la función, aparentemente simple, de amplificar tensión. Para ello deben convertir los niveles de línea -de hasta un voltio, aproximadamente- en tensiones de varias decenas de voltios, con corrientes de salida de varios amperios. Solo así se puede desarrollar la potencia necesaria en los terminales del altavoz. Dados estos pocos requerimientos, es sorprendente la cantidad de diseños diferentes que existen en el mercado.

12.1 Amplificadores de potencia domésticos

Un amplificador de potencia doméstico está diseñado, en el mejor de los casos, para obtener la máxima fidelidad en el verdadero sentido de la palabra. Esto suele significar el que a otras consideraciones, como la protección frente sobrecargas prolongadas y la estabilidad completa sobre cualquier tipo de altavoces de carga, no se les suela dar la prioridad que, sin embargo, es esencial en el campo profesional. Un amplificador profesional debe estar preparado para soportar otro ritmo de trabajo. Se le puede pedir, por ejemplo, que alimente durante horas un par de altavoces de 6 ohmios en paralelo, unidos por un cable de 30 metros, dando casi el máximo nivel de salida desde el principio hasta el final. Este podría ser el caso de una instalación de megafonía en un concierto de «rock». En situaciones de este tipo hay que utilizar, normalmente, fuentes de potencia grandes y transformadores pesados, con suficiente superficie de disipación de calor (las aletas negras que se suelen encontrar en la parte trasera de la cubierta externa) para protegerlos del sobrecalentamiento. A menudo se emplean ventiladores de refrigeración, que suelen funcionar a diferentes velocidades, dependiendo de la temperatura del amplificador.

Es improbable que a un amplificador doméstico se le haga trabajar con niveles de salida altos durante un período de tiempo muy largo. Las fuentes de alimentación, por lo tanto, deben estar diseñadas para suministrar corrientes altas durante períodos de tiempo cortos, de forma que puedan responder frente a pasajes sonoros de alto nivel. En un amplificador doméstico probablemente sea un derroche una fuente de alimentación grande, capaz de entregar corrientes altas durante largos períodos de tiempo. Así mismo, gracias a la inercia térmica del transformador y a los disipadores de calor, es poco probable que pueda producirse un recalentamiento del amplificador. Aunque existe algún que otro altavoz doméstico que resulta relativamente difícil de alimentar, la mayoría de los altavoces de alta fidelidad son una carga confortable para un amplificador. Esta dificultad se basa en que a veces es necesario tratar

FICHA TEMÁTICA
12.1 Clases de amplificadores

Clase A

La etapa de salida consume una corriente alta y constante de la fuente de alimentación, independientemente de si hay señal de audio presente o no. Las etapas de clase A de baja corriente se usan muy a menudo para circuitos de audio. Existe una corriente permanente de polarización que se emplea porque los transistores son dispositivos no lineales, particularmente cuando se les hace trabajar con corrientes muy bajas. Se hace pasar a través de ellos una corriente fija que les polariza en la zona de su margen de trabajo en la que son más lineales.

La corriente de polarización constante hace al amplificador en clase A poco eficiente, debido a la generación de calor. Se tiene, sin embargo, la ventaja de que los transistores de salida están a una temperatura fija constante. La clase A proporciona una calidad de sonido muy alta, y no es raro encontrarla en amplificadores domésticos de la gama alta, pensados para «oídos selectos».

Clase B

No circula corriente a través de los transistores de salida cuando no hay señal de audio presente. Es la propia señal de excitación la que polariza a los transistores para que entren en conducción y exciten a los altavoces. La técnica es, por lo tanto, extremadamente eficiente porque la corriente extraída de la fuente de alimentación depende por completo del nivel de la señal de entrada al amplificador. Esto hace a la clase B particularmente atractiva en equipos alimentados a baterías. El inconveniente es que con niveles de señal bajos los transistores de salida operan en una región no lineal. En los amplificadores de potencia se suelen agrupar los transistores en parejas (o múltiplos pares) para proporcionar la corriente de salida necesaria. Cada uno de los miembros del par maneja mitades opuestas de la forma de onda de salida (positiva y negativa respecto a cero) y, por lo tanto, como la salida va cambiando alternativamente de positivo a negativo, pasando por cero, la señal sufre la denominada «distorsión de cruce». El resultado es una calidad de sonido relativamente baja. Pero la clase B puede usarse en aplicaciones que no requieran una alta calidad, como los sistemas telefónicos, transmisores de seguridad portátiles, sistemas de aviso y similares.

Clase A-B

En este diseño existe una corriente de polarización constante, relativamente baja, circulando por los transistores de salida. Para señales de excitación bajas esto equivale a un amplificador clase A de pequeña potencia. A medida que la señal de excitación aumenta, los transistores de salida se polarizan cada vez más en conducción, aumentando progresivamente la potencia que entrega a los altavoces. Por lo tanto, en un amplificador de clase A-B existen dos comportamientos diferenciados. Por un lado está el componente de clase A, que funciona con bajo nivel y mantiene los transistores polarizados en una parte lineal de su rango de operación; de esta forma se evita en gran medida la distorsión de cruce. Por otro lado está el componente en clase B; es decir, depende del nivel de la señal de excitación a la entrada del amplificador. La mayoría de los amplificadores de alta calidad operan sobre este principio.

Otras clases

La clase C opera sobre una carga resonante para una banda de frecuencias estrecha. Resulta muy apropiada para el trabajo en radiofrecuencia (RF), donde un amplificador ha de excitar una antena sintonizada a una determinada frecuencia. La clase D equivale a una «modulación de ancho de pulsos» en la que se usa una frecuencia ultrasónica, modulada por la señal de audio, para excitar los transistores de salida. Después de la etapa de salida se emplea un filtro paso bajo. Esta técnica ha vuelto a utilizarse en algún que otro aparato a finales de los años ochenta.

Las clases E y F estaban orientadas hacia el aumento de la eficiencia, y en la actualidad no existen modelos comerciales que trabajen con estos diseños.

La clase G incorpora varias líneas de tensión diferentes que se activan de forma progresiva a medida que el voltaje de la señal de excitación se incrementa. Esta técnica puede dar una eficiencia muy buena porque la mayor parte del tiempo solo están en funcionamiento las fuentes de bajo voltaje y baja corriente. Los equipos de clase G pueden ser de menor tamaño que sus parientes de clase A-B, para valores similares de potencia de salida.

Desde los primeros años 80 los MOSFET («Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor», transistor de efecto de campo por unión metal-oxido-semiconductor) han sido muy utilizados para las etapas de salida de los amplificadores de potencia. Las técnicas MOSFET aseguran una distorsión más baja, mejor seguimiento térmico (es decir, buena linealidad sobre un margen amplio de temperaturas de trabajo), diseños más simples de las etapas de salida y mayor tolerancia frente a cargas «difíciles» de altavoces sin necesidad de una circuitería de protección especial.

con distintas combinaciones de baja impedancia, bajo rendimiento (que provocan una gran demanda de potencia) y desfases entre corriente y tensión (debidos a componentes de intermodulación y al comportamiento del propio altavoz dentro de la caja acústica). Los cables de altavoces no suelen ser demasiado largos, con tiradas que no superan los 10 metros.

No es fácil que, debido a líneas de altavoz defectuosas, un amplificador quede en cortocircuito durante mucho tiempo, puesto que el propio silencio del altavoz es un rápido aviso de que algo va mal. No sucede lo mismo con un amplificador profesional, que puede ser uno más dentro de un conjunto que excita una agrupación entera de altavoces. Un cortocircuito que se produjera nada más comenzar el espectáculo, podría hacer que el amplificador estuviera trabajando en condiciones extremas durante toda la noche. Es necesario incorporar en el diseño circuitos de protección que permitan al amplificador profesional hacer frente a situaciones de este tipo sin sobrecalentarse o fallar estrepitosamente, lo que podría afectar a otros amplificadores que compartan con él la instalación.

A lo largo de los años han aparecido distintas «clases» de amplificadores. Todos ellos suelen ir identificados en sus terminales de salida, indicando el tipo de topología que debe emplearse para excitar el altavoz. En la Ficha Temática 12.1 se resumen las diferentes clases de funcionamiento de los amplificadores de potencia.

12.2 Prestaciones de un amplificador profesional

Los amplificadores de potencia más sencillos disponen simplemente de conectores de entrada y de salida ... y nada más. Es fácil encontrarse con modelos de un solo canal, que resultan muy interesantes en el campo profesional, en lugar de utilizar amplificadores estéreo: si un canal de un amplificador estéreo sufre un fallo, el otro canal debe desconectarse también, desperdiciando un circuito que podría utilizarse perfectamente si fuese independiente. El amplificador de potencia monocanal es, por lo tanto, una buena idea cuando se usan formaciones de varios altavoces, como es el caso de los sistemas de megafonía de «rock» o el sonido para teatro.

Otras prestaciones que pueden encontrarse en los amplificadores de potencia incluyen: controles del nivel de entrada, medidores de nivel de salida, indicadores de sobrecarga, interruptores térmicos (la alimentación se desconecta automáticamente si el amplificador sobrepasa una cierta temperatura), posibilidad de tierra flotante, para evitar los bucles de masas, e interruptor de «puenteo» (o «bridging»). Esta última opción, aplicable a un amplificador de potencia estéreo, permite que los dos canales del amplificador puedan unirse mediante un puente para formar un solo canal mono de potencia más alta. Los altavoces se conectarán ahora a los dos terminales de salida positivos, dejando sin usar los terminales negativos. En esta situación se utilizará uno solo de los conectores de entrada para excitarlo.

A la hora de diseñar un amplificador debe pensarse en incorporar ventiladores de refrigeración. Los modelos con ventilación forzada pueden ser físicamente más pequeños que sus parientes de ventilación por convección, pero los ventiladores tienen el inconveniente de ser ruidosos. El uso de ventiladores que no sean realmente silenciosos puede resultar inaceptable en un estudio o sala de control de radio o en aplicaciones tales como una función de teatro, por ejemplo. Este tipo de etapas de potencia necesitarán estar alojados en una habitación separada y bien ventilada. La ventilación es, en definitiva, un factor muy importante a tener en cuenta en todos los amplificadores de potencia.

12.3 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas de los amplificadores de potencia incluyen parámetros como los siguientes: sensibilidad, máxima potencia de salida para una carga dada, ancho de banda

de potencia, respuesta en frecuencia, velocidad de respuesta (o «slew rate»), distorsión, diafonía entre canales, relación señal/ruido, impedancia de entrada, impedancia de salida, factor de amortiguamiento, respuesta de fase y tensión continua residual «DC offset». Pueden apreciarse diferencias bastante sorprendentes de calidad de sonido entre distintos modelos. No es suficiente, por desgracia, con conocer las medidas estáticas para que el usuario sepa exactamente lo que puede esperar oír de un determinado dispositivo.

12.3.1 Sensibilidad

La sensibilidad indica cuánto voltaje de entrada se necesita para producir la salida nominal máxima del amplificador. Por ejemplo, en un determinado modelo se puede especificar «150 vatios sobre 8 ohmios, sensibilidad de entrada 775 mV = 0 dBu». Esto significa que un voltaje de entrada de 775 mV causará que el amplificador desarrolle 150 vatios sobre una carga de 8 ohmios. Los altavoces presentan una impedancia que varía considerablemente con la frecuencia, de manera que ésta es siempre una especificación sólo nominal cuando están siendo excitados altavoces reales. Es importante considerar la sensibilidad, porque al equipo que ha de excitar al amplificador no se le debe permitir entregar un voltaje mayor que el que establece la especificación de aquel; de lo contrario el amplificador estará sobrecargado, causando un recorte de la onda de salida (un aplanamiento de los extremos superior e inferior de la forma de onda que da como resultado una severa distorsión). El efecto es que el sonido se «rompe» en los picos musicales y puede causar daño en los altavoces de agudos y en las bocinas de alta frecuencia.

Muchos amplificadores tienen controles de nivel de entrada de forma que si, por ejemplo, el nivel de pico de salida del mezclador que excita el amplificador es normalmente +8 dBu

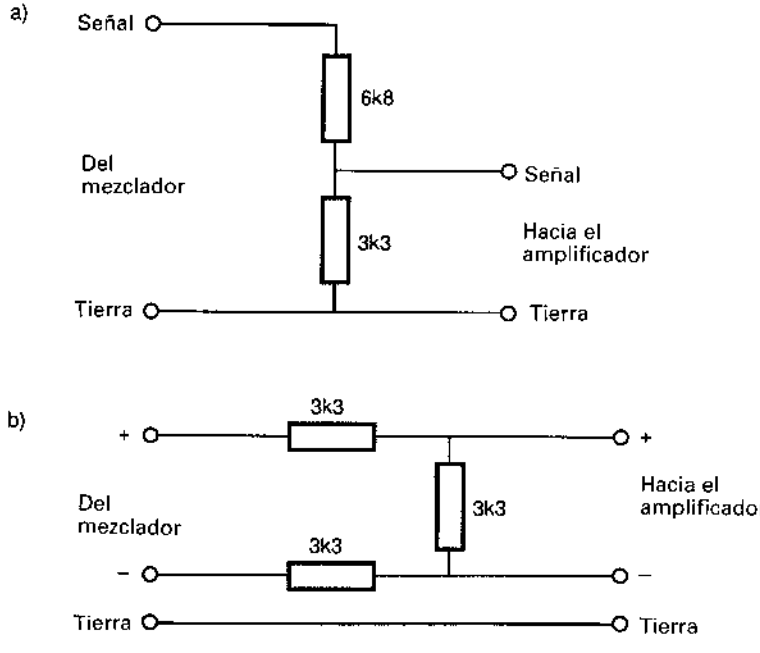


Figura 12.1 (a) Atenuador resistivo desbalanceado. (b) Atenuador resistivo balanceado.

(alrededor de 2 voltios) los niveles de entrada del amplificador podrían reducirse para prevenir la sobrecarga. En este ejemplo, 2 voltios es 8 dB mayor que 775 mV (0 dBu) con lo que debería reducirse en 8 dB el control de nivel de entrada para evitar la sobrecarga. Si en el control de nivel no existe una calibración en dB, cosa que suele ocurrir en muchos modelos, se puede seguir la siguiente regla: con respecto a su posición máxima, equivalente a la posición de las agujas del reloj a «las 5 en punto», reducir el nivel hasta aproximadamente «las 2 en punto»; ello reducirá la sensibilidad en unos 10 dB, lo que equivale a un factor de 3. En esta posición el amplificador de potencia, con una sensibilidad de entrada de 775 mV, requerirá 0'775 x 3 (aproximadamente 2 voltios) para conseguir toda su potencia.

Si no existen controles de nivel de entrada, se puede construir un simple atenuador resistivo que reduce el voltaje que alimenta la entrada del amplificador. En la figura 12.1 se muestran dos ejemplos de estos atenuadores. Lo mejor es situarlos próximos a la entrada del amplificador de potencia, para poder mantener los niveles de señal altos en la mayor parte del recorrido por los cables de conexión. En ambos casos la resistencia de 3k3 que está en paralelo con la entrada del amplificador puede ser incrementada en valor para conseguir una menor atenuación, y ser reducida para obtener el efecto contrario. Si se hace con cuidado, puede conseguirse colocar las resistencias dentro de los conectores, siendo necesario en ese caso etiquetar éstos claramente.

12.3.2 Potencia de salida

El fabricante especificará la máxima potencia que un modelo en particular puede proporcionar sobre una determinada carga (por ejemplo «200 vatios sobre 8 ohmios») con la frase «con los dos canales alimentados», o «por canal», escrita a continuación. Esto último significa que los dos canales de un amplificador estéreo pueden entregar esa potencia simultáneamente. Cuando se excita uno sólo de los canales, la potencia máxima es generalmente un poco mayor, digamos 225 vatios, porque la fuente de alimentación soporta menos carga. Así, 200 vatios sobre 8 ohmios significa que el amplificador es capaz de entregar 40 voltios sobre esta carga,

FICHA TEMÁTICA 12.2 Ancho de banda de potencia

Ancho de banda de potencia es una definición de los límites de respuesta en frecuencia en los que un amplificador puede mantener su nivel de salida establecido. En concreto, se permite una caída de 3 dB en la potencia de salida al definir el ancho de banda de un determinado amplificador. Por ejemplo, un amplificador de 200 vatios puede tener un ancho de banda de potencia de 10 Hz a 30 kHz, lo que significa que puede suministrar 200 vatios - 3 dB (=100 vatios) a 10 Hz y 30 kHz, comparado con la totalidad de los 200 vatios en las frecuencias medias. De tal amplificador se espera que entregue el total de los 200 vatios en todas las frecuencias entre, aproximadamente, 30 Hz y 20 kHz; este dato debería estar incluido entre sus especificaciones. A menudo, sin embargo, la estimación de potencia del amplificador es mucho más llamativa cuando se utilizan tonos senoidales sencillos que cuando se emplean señales de banda ancha, ya que el amplificador es más eficiente con una única frecuencia.

El ancho de banda de potencia puede indicar si un amplificador determinado es capaz de excitar un «subwoofer» (altavoz para frecuencias muy bajas) con niveles altos en una instalación de megafonía, ya que se le podrá pedir que entregue la mayor parte de su potencia a frecuencias por debajo de los 100 Hz, por ejemplo. La excitación de las bocinas de alta frecuencia también necesita de un buen ancho de banda de potencia en las frecuencias altas, de manera que el amplificador nunca recorte los picos de las señales de AF, lo que dañaría fácilmente las bocinas, según quedó dicho anteriormente.

con una corriente de 5 amperios. Si la carga se reduce ahora a 4 ohmios, el mismo amplificador debería producir 400 vatios. Un amplificador teóricamente perfecto deberá pues doblar su salida cuando la impedancia que excita se reduce a la mitad. En la práctica, esto queda fuera del alcance de la mayoría de los amplificadores de potencia. La especificación de 4 ohmios del ejemplo anterior puede quedar próxima a 320 vatios, pero este valor está tan sólo a 1 dB, aproximadamente, por debajo del teóricamente perfecto. Una carga de 2 ohmios es un castigo demasiado grande para el amplificador, y debería evitarse, incluso aunque el fabricante asegure que un determinado modelo es capaz de dar, por ejemplo, 800 vatios en picos de corta duración sobre 2 ohmios. Esto nos indica, al menos, que el amplificador puede ser capaz de excitar cargas de 4 ohmios sin ningún problema.

Una potencia de 200 vatios es sólo 3 dB mayor que otra de 100 vatios. Así pues, una variación de esta magnitud no significa que vayan a cambiar otros parámetros, por lo que el valor exacto de la potencia de un amplificador es menos importante que factores tales como su habilidad para excitar cargas reactivas difíciles por largos períodos de tiempo, por ejemplo. Es frecuente encontrar la indicación «RMS» después del valor de la potencia en vatios. Esto significa «valor cuadrático medio» (del inglés *root-mean-square*) y define la mera potencia «calorífica» disipada por el amplificador, más que su pico de salida. Todos los amplificadores deberían especificarse en RMS de forma que pudieran ser comparados fácilmente. El valor RMS es 0'707 veces la capacidad instantánea de pico. Un amplificador profesional suele indicar en sus especificaciones tanto la potencia de pico como el valor RMS.

El ancho de banda de potencia no es lo mismo que la estimación de potencia, tal como se discute en la Ficha Temática 12.2.

12.3.3 Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia, a diferencia del ancho de banda de potencia, es simplemente una medida de los límites dentro de los cuales el amplificador responde de igual forma a todas las frecuencias cuando entrega una potencia muy baja. La respuesta en frecuencia se mide generalmente con el amplificador entregando una potencia de 1 vatio sobre 8 ohmios. Se debería buscar una especificación del tipo «20 Hz - 20 kHz ± 0'5 dB», que significa que la respuesta es virtualmente plana a lo largo de toda la banda audible. Además, se suelen establecer también los puntos de -3 dB; por ejemplo: «-3 dB a 12 Hz y 40 kHz», que indica que la respuesta cae suavemente por encima y por debajo del rango de audio. Esto es deseable, ya que da un grado de protección al amplificador y a los altavoces contra las perturbaciones subsónicas y las interferencias de RF.

12.3.4 Distorsión

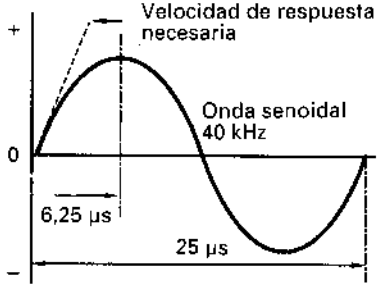
La distorsión debería ser 0'1% THD (ver sección A1.3), o menor, en toda la banda de audio, incluso en las proximidades de la salida máxima estimada. A menudo sube ligeramente en las frecuencias muy altas, pero es un efecto sin mayores consecuencias. La distorsión en transitorios, o distorsión por intermodulación en transitorios (TID), es también una especificación bastante útil. Se suele obtener alimentando el amplificador con dos ondas senoidales de 19 kHz y 20 kHz y midiendo el nivel relativo del tono diferencia de 1 kHz. El nivel de 1 kHz debería estar al menos 70 dB por debajo, lo que indicaría un buen comportamiento del amplificador a este respecto. La prueba deberá llevarse a cabo con el amplificador entregando al menos dos terceras partes de su potencia nominal sobre 8 ohmios. La distorsión por tiempo de respuesta a transitorios también es importante (ver Ficha Temática 12.3).

FICHA TEMÁTICA 12.3

Velocidad de respuesta

La velocidad de respuesta, o «slew rate», es una medida de la habilidad de un amplificador para responder de una forma precisa a los transitorios de alto nivel. Por ejemplo, el borde frontal de un transitorio puede demandar del amplificador que su salida oscile de 0 a 120 vatios en una fracción de un milisegundo. La velocidad de respuesta está definida en V μs^{-1} (voltios por microsegundo). Un amplificador de potencia que es capaz de dar 200 vatios tendrá generalmente una velocidad de respuesta de, al menos, 30 V μs^{-1}. Los modelos de más alta potencia requerirán una velocidad de respuesta mayor simplemente porque es mayor su variación máxima del voltaje de salida. A un modelo de 400 vatios se le podría pedir variar 57 voltios sobre 8 ohmios, comparados con los 40 del modelo de 200 vatios, por lo que su velocidad de respuesta debe ser al menos:

$$30 \times (57 \div 40) = 43 \text{ V } \mu s^{-1}$$



En la práctica, los modernos amplificadores de potencia alcanzan cómodamente valores de «slew rate» por encima de estas cifras.

Como ejemplo, podemos estimar el valor mínimo absoluto considerando la frecuencia de interés más alta, 20 kHz, doblándola por seguridad, 40 kHz, y calculando lo rápido que debe responder un amplificador dado para poder trabajar a toda su potencia. Una onda senoidal de 40 kHz alcanza su pico positivo de subida en 6'25 µs, como se muestra en la figura. Un modelo de 200 vatios entrega una variación de voltaje de 56'56 voltios, pico a pico (1'414 veces el voltaje RMS). Puede dar la impresión entonces de que se le podría pedir variar entre 0 V y +28'28 V en 6'25 µs, lo que requiere una velocidad de respuesta de 28'28 ÷ 6'25 = 4'35 V μs^{-1}. Pero el requerimiento de velocidad de respuesta real es mayor, porque la porción inicial de la onda senoidal sube de forma muy empinada, decayendo la pendiente al acercarse a su nivel máximo.

Un pasaje musical cualquiera presenta ondas en todas las formas y tamaños, incluyendo formas casi cuadradas con sus bordes frontales prácticamente verticales. En este caso debería considerarse como necesario una velocidad de respuesta de aproximadamente 8 veces éste valor; es decir, 30 V μs^{-1}. Conviene recordar, sin embargo, que los armónicos de una onda cuadrada de alta frecuencia están muy por encima del espectro audible y, por lo tanto, es improbable que pueda apreciarse la distorsión por velocidad de respuesta de estas ondas de AF. Algunas veces se encuentran valores de «slew rate» extremadamente altos, de varios cientos de voltios por microsegundo. Estas cifras se consiguen por un lado con una amplia respuesta en frecuencia, y por otro con transistores de salida rápidos, aunque estos no son siempre tan estables sobre cargas de altavoz difíciles como lo son sus parientes «comunes». Las velocidades de respuesta excesivamente altas deben ser vistas, por lo tanto, con escepticismo.

12.3.5 Diafonía

Las cifras de diafonía deberán estar, como mínimo, alrededor de -70 dB a frecuencias medias, pudiéndose degradar hasta -50 dB a 20 kHz, y quizás en la misma magnitud para 25 Hz. Algunas veces se especifica también la llamada «diafonía dinámica». Esta se manifiesta principalmente en las frecuencias bajas, debido a que la fuente de alimentación debe trabajar de forma más dura cuando se le piden corrientes altas durante una excitación de alto nivel y baja frecuencia. La demanda de corriente de uno de los canales, puede modular las líneas de voltaje de la fuente de alimentación, lo que llegaría a afectar al otro canal. Para eliminar tal dia-

fonía muchos amplificadores tienen fuentes de alimentación completamente separadas para cada canal o, al menos, arrollamientos secundarios separados en los transformadores de alimentación. Además de esto, suele haber dos conjuntos de rectificadores y condensadores de filtro, lo que es casi igual de efectivo.

12.3.6 Relación señal/ruido

La relación señal/ruido es una medida del voltaje de ruido residual de salida expresado como la relación en decibelios entre éste y el voltaje de salida máximo, cuando la entrada es cortocircuitada. El ruido no debería ser un problema con un amplificador de potencia moderno y no es raro encontrar relaciones señal/ruido de al menos 100 dB. Los modelos de alta potencia (por encima de los 200 vatios) deberán tener una relación señal/ruido proporcionalmente mayor (es decir, unos 110 dB) para que el ruido de salida residual permanezca por debajo del umbral de audición.

12.3.7 Impedancia

La impedancia de entrada de un amplificador debería ser de al menos 10 kΩ, de forma que si se necesita que un mezclador excite, digamos, a 10 amplificadores en paralelo -lo que es un caso frecuente en las instalaciones de megafonía-, la carga total será 10 kΩ/10 = 1 kΩ, que es todavía una carga cómoda para el mezclador. Debido a que los altavoces tienen una impedancia muy baja, la impedancia de salida del amplificador no debe ser mayor que una fracción de ohmio: se necesita un valor de 0'1 ohmio o menos. Un amplificador de potencia necesita ser virtualmente una «fuente de tensión ideal», su voltaje de salida ha de permanecer sustancialmente constante con diferentes impedancias de carga.

La impedancia de salida, sin embargo, sube un poco a frecuencias extremas. En BF la impedancia de la fuente de alimentación sube y, por lo tanto, también sube la del amplificador. Es una práctica común situar una inductancia de bajo valor, de un par de microhenrios, en serie con la salida del amplificador de potencia, lo que aumenta un poco su impedancia de salida en AF. Esto se hace para proteger al amplificador contra altavoces particularmente reactivos o cables excesivamente capacitivos, que pueden provocar oscilaciones de alta frecuencia.

12.3.8 Factor de amortiguamiento

El factor de amortiguamiento es una indicación numérica de lo bien que un amplificador puede «controlar» un altavoz. Existe la tendencia por parte de los conos y diafragmas de los altavoces a continuar vibrando un poco después de que ha parado la señal de excitación; una impedancia de salida muy baja, que cortocircuite virtualmente los terminales del altavoz, puede amortiguar este efecto. El factor de amortiguamiento es la relación entre la impedancia de salida del amplificador y la impedancia nominal del altavoz. Así, un factor de amortiguamiento de «100 sobre 8 ohmios» significa que la impedancia de salida del amplificador es 8 ÷ 100, o sea, 0'08 ohmios. Cien es una buena cifra (cuanto mayor sea mejor, pero un número mayor de 200 *podría* implicar que el amplificador está protegido de forma insuficiente frente a cargas reactivas y similares), pero es mejor si se especifica la frecuencia. El factor de amortiguamiento es más útil a bajas frecuencias porque son los conos de graves los que vibran con la mayor excursión, requiriendo un control más estrecho. Un factor de amortiguamiento de «100 a 40 Hz» es, por lo tanto, una especificación más útil que «100 a 1 kHz».

12.3.9 Respuesta de fase

La respuesta de fase es una medida de lo bien que las frecuencias extremas mantienen el paso con las frecuencias medias. A muy bajas y muy altas frecuencias son comunes adelantos o retardos de fase de 15°, lo que significa que en caso de retardo existe un pequeño retraso de la señal, comparado con las frecuencias medias; un adelanto de fase significa lo contrario. A 20 Hz y 20 kHz el retardo o adelanto de fase no debería ser mayor de 15°, de lo contrario se podría llegar a un alto grado de inestabilidad cuando están siendo excitadas cargas elevadas, particularmente si existen errores de fase de AF.

La fase absoluta de un amplificador de potencia es simplemente una indicación de si la salida está en fase con la entrada. El amplificador debería ser «no inversor de fase» en toda su banda de paso. Existe algún que otro modelo que invierte la fase, lo que puede ocasionar dificultades cuando se mezclan con dispositivos que no la invierten, en agrupaciones de muchos altavoces. En este caso pueden surgir cancelaciones entre altavoces adyacentes, y relaciones de fase incorrectas entre pares estéreo, por ejemplo. La causa de estos problemas no suele ser evidente y a veces se desperdicia mucho tiempo en su resolución.

12.4 Acoplamiento

La gran mayoría de las etapas de salida de los amplificadores de potencia están «acopladas directamente»; es decir, que los transistores de potencia de salida están conectados a los altavoces sin nada en medio, aparte, quizás, de una resistencia de muy bajo valor y una pequeña inductancia. Los puntos de polarización de corriente continua del circuito han de ser escogidos, por lo tanto, de forma que no aparezca voltaje de continua en los terminales de salida del amplificador. En la práctica esto se consigue con líneas de tensión «divididas» de polaridad opuesta (por ejemplo, +46 voltios CC) entre las que «cuelgan» etapas de salida simétricas, siendo la salida el punto medio entre las líneas de tensión (es decir, 0 V). Existen siempre pequeños errores, así como «tensiones continuas residuales» «DC Offsets», lo que significa que entre los terminales de salida estarán siempre presentes varios milivoltios de tensión continua. Esta corriente continua fluye a través del altavoz, haciendo que su cono se desvíe un poco, bien hacia adelante o bien hacia atrás, de su posición de reposo. Se debe, por lo tanto, obtener una tensión residual de continua tan baja como sea posible; un valor de ±40 mV es un máximo aceptable. Son bastante comunes valores de 15 mV o menos.

Líneas e interconexiones

Este capítulo trata de la interconexión de señales analógicas y la resolución de los problemas que presentan los interfaces analógicos. No se pretenden cubrir los sistemas de interfaz digital, ya que éstos fueron ampliamente tratados en otro capítulo (ver *Lecturas recomendadas* al final del Capítulo 10). La adecuada interconexión de las señales de audio analógicas, así como una perfecta comprensión de los principios básicos de las líneas equilibradas y no equilibradas, es vital para el mantenimiento de la alta calidad en un sistema de audio que, a pesar del creciente uso de las técnicas digitales, continuará siendo importante durante muchos años.

13.1 Transformadores

El uso de los transformadores de alimentación está muy extendido, tanto en la industria eléctrica como en la electrónica, normalmente para convertir la tensión de la red eléctrica de 240 V CA a una tensión bastante más baja.

Los transformadores de audio se emplean a menudo en los equipos de sonido para propósitos de equilibrado y aislamiento y, mientras que los transformadores de alimentación sólo necesitan trabajar a 50 Hz, los primeros deben dar una respuesta satisfactoria en todo el espectro de frecuencias de audio. Afortunadamente, la mayoría de los transformadores de audio sólo deben manejar unos pocos voltios y una potencia insignificante; es por eso que son generalmente mucho más pequeños que los de alimentación. Los principios del funcionamiento del transformador se desarrollan en la Ficha Temática 13.1.

13.1.1 Transformadores e impedancias

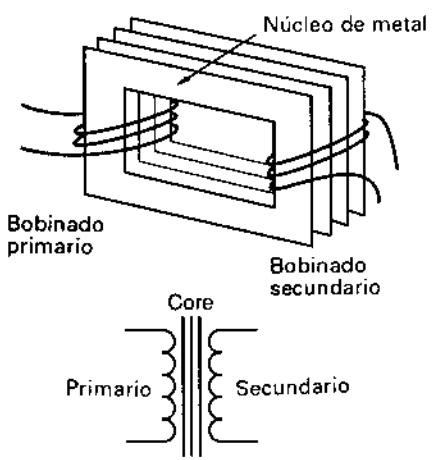
Consideremos la figura 13.1(a). La relación de transformación es 1:2, siendo el cuadrado de esta relación (usado para calcular la impedancia en el secundario) de 1:4, y así la impedancia en el secundario será de 10 x 4 = 40 k. En la figura 13.1(b) se muestra otro ejemplo, donde la relación de transformación es 1:4, se aplican 0'7 voltios al primario que resultan en 2'8 voltios en el secundario. El cuadrado de la relación de transformación es 1:16 y, por tanto, la impedancia en el secundario es 2 k x 16 = 32 k. El transformador también trabaja en sentido contrario, como se muestra en la figura 13.1(c). Una resistencia de 20 k se sitúa ahora en el secundario y como el cuadrado de la relación de transformación es 1:16, la impedancia en el primario es 20 k ÷ 16 = 1k25.

Consideremos ahora un transformador de micrófono que está cargado con una impedancia en ambos lados como se muestra en la figura 13.2. El transformador presenta la impedancia de 2 k del mezclador al micrófono y la impedancia de 200 ohmios del micrófono al mezclador. Con una relación de elevación de 1:4, el cuadrado de la relación de transforma-

FICHA TEMÁTICA

13.1 El transformador

En la figura se puede observar que el transformador consiste en un núcleo laminado (esto es, un número de delgadas hojas de metal «laminado», agrupadas para formar un grueso núcleo compacto) alrededor del cual está arrollado un bobinado «primario» y un bobinado «secundario». Si una corriente alterna atraviesa el bobinado primario, aparece un flujo magnético en el núcleo (de modo similar al principio de un cabezal de cinta; ver Ficha Temática 8.1) y, por tanto, en el bobinado secundario. Los cambios de flujo en el bobinado secundario producen una corriente inducida en él.



La tensión en el bobinado secundario comparada con la del primario es proporcional a la relación entre el número de espiras de cada bobina. Por ejemplo, si el bobinado primario y el secundario tienen el mismo número de espiras, entonces 1 voltio en el primario aparecerá como 1 voltio en el secundario. Si el secundario tiene el doble de espiras que el primario, entonces aparecerá en él el doble de tensión. El transformador también trabaja a la inversa, una tensión aplicada en el secundario inducirá en el primario una tensión proporcional a la relación de transformación.

La corriente en el secundario es *inversamente* proporcional a la relación de transformación, de tal manera que existe igual *potencia* en el primario y en el secundario (no es magia: el aumento de tensión en el secundario de un transformador de elevación se contrarresta con la ¡disminución de corriente!).

Es importante recordar que el principio de funcionamiento del transformador depende en CA de que los bobinados induzcan un campo alterno en el núcleo (o sea, es el *cambio* de sentido del flujo magnético lo que induce una corriente en el secundario, no la simple presencia de un flujo constante). Una señal de CC, por lo tanto, no atravesará un transformador.

Las impedancias son proporcionales al *cuadrado* de la relación de transformación, como se comentó en el texto principal. Un transformador «reflejará» las impedancias entre las que esté ubicado. Así, en el caso de un transformador de 1:1 la impedancia en el secundario es igual a la impedancia en el primario, pero en el caso de un transformador de 1:2 la impedancia vista en el secundario sería cuatro veces la que hay en el primario.

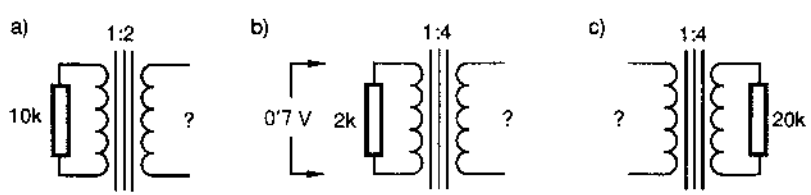


Figura 13.1 Ejemplos de circuitos con transformador. (a) ¿Cuál es la impedancia en el secundario? (b) ¿Cuál es la impedancia y la tensión en el secundario? (c) ¿Cuál es la impedancia en el primario?

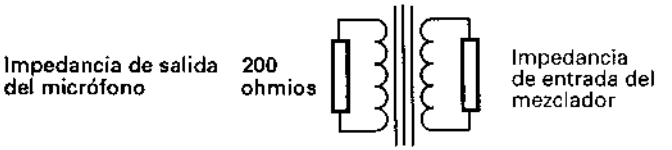


Figura 13.2 La impedancia de entrada del mezclador vista por el micrófono está modificada por la relación de transformación, y viceversa.

ción sería 1:16 y el micrófono aparecería con una impedancia de 2 k / 16 = 125 ohmios, mientras que el mezclador sería reflejado con una impedancia de 200 x 16 = 3200 ohmios. Así pues, en este caso particular un transformador de elevación de 1:4 no sería adecuado, dado que los micrófonos funcionan mejor con una impedancia cinco o más veces superior a la suya y 125 ohmios sería muy pequeña. Además, las entradas electrónicas trabajan mejor cuando ven una impedancia considerablemente inferior a la suya y 3200 ohmios es demasiado alta.

13.1.2 Limitaciones de los transformadores

Anteriormente se mencionó que un transformador de audio debe ser capaz de manejar el espectro completo de audiofrecuencia. A frecuencias muy altas o muy bajas esto no es fácil de lograr, y nos encontraremos a menudo con que la distorsión aumenta a baja frecuencia y también, aunque en menor medida, a muy alta frecuencia. La respuesta en frecuencia se reduce en ambos extremos de la banda y un transformador normal puede tener caídas de 3 dB a 20 Hz y 20 kHz, en comparación con las frecuencias medias, si bien los transformadores buenos (=caros) tienen mucha mejor respuesta en frecuencia. Todos los transformadores son diseñados para trabajar entre ciertos límites de tensión y corriente, y si se les aplica una tensión demasiado alta aumentará rápidamente la distorsión.

Las impedancias entre las que trabaja el transformador afectarán a la respuesta en frecuencia y a la distorsión. Por tanto, un determinado modelo será diseñado para dar su máximo rendimiento cuando se emplee para la aplicación que se pensó. Por ejemplo, un transformador de micrófono está diseñado para manejar tensiones de hasta unos 800 mV. El bobinado primario estará cargado con unos 200 ohmios y el secundario con 1 - 2 k, aproximadamente (o bastante más si existe una relación de elevación). Por el contrario, un transformador de nivel de línea debe manejar tensiones de hasta unos 8 voltios y probablemente verá a su entrada una impedancia de unos 100 ohmios y cargará a su salida a una de 10 k o más. Unos parámetros tan diferentes como estos requieren diseños especializados. Se puede decir que no existe un transformador «universal».

Los transformadores son sensibles a los campos electromagnéticos y por eso su ubicación debe tenerse en cuenta. Sitúe un transformador de audio próximo a un transformador de red y se inducirá en él un ruido, que afectará por consiguiente a todo el circuito de audio. La mayoría de los transformadores de audio se fabrican en encapsulado metálico apantallado, lo cual reduce considerablemente su susceptibilidad a las interferencias de radiofrecuencia y a otras similares.

13.2 Líneas no equilibradas

«No equilibrado» en este contexto no significa inestable o erróneo. La línea de audio no equilibrada (también conocida como «no balanceada») se encuentra prácticamente en todos los

FICHA TEMÁTICA **13.2**

Bucles de tierra

Podemos encontrarnos con cables en los que la malla exterior de la línea esté conectada a tierra en ambos extremos. En muchas equipos de audio la tierra del circuito está conectada a la tierra de la red eléctrica. Sucede que cuando dos o más equipos están conectados entre sí se crean múltiples caminos de unión con la tierra de la red eléctrica, y si las tierras están a potenciales ligeramente diferentes pueden circular pequeñas corrientes por la malla de los conductores, induciéndose ruido de red de 50 Hz en el conductor interior. Un remedio común para solventar este problema es desconectar los cables de tierra en los enchufes de red de todas las piezas del equipo excepto uno. De esta forma la conexión que queda proveerá la tierra para todas las demás piezas del equipo a través de las distintas mallas.

Esto, no obstante, puede resultar peligroso, ya que si una pieza del equipo falla y nos obliga a desconectar el enchufe que tiene la conexión a tierra, el resto del sistema queda sin tierra y el fallo podría, en casos serios, derivar la tensión de red a las partes metálicas del equipo. Hoy en día, muchas unidades están «doblemente aisladas» para que no pueda ocurrir lo antes comentado. El cable de red son sólo dos hilos, fase y neutro.

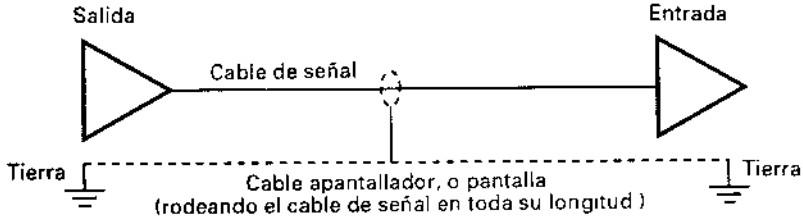


Figura 13.3 Interconexión sencilla no equilibrada.

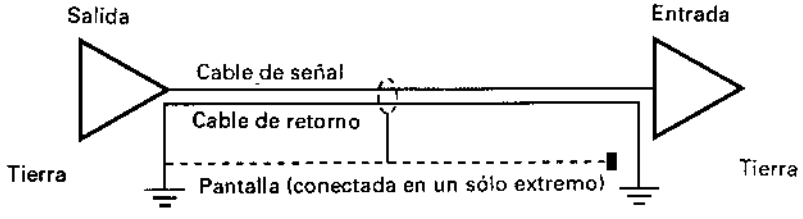


Figura 13.4 Interconexión no equilibrada alternativa.

equipos domésticos de audio, en muchos semiprofesionales e incluso en algunos profesionales. Consiste en un camino de «ida» y otro de «retorno» para la señal de audio, siendo el camino de retorno la malla exterior que cubre el cable de ida y lo apantalla contra las interferencias electromagnéticas, como se muestra en la figura 13.3. El efecto de la pantalla reduce considerablemente interferencias tales como ruido de RF y otras inducciones, aunque no las elimina totalmente. Si la línea no equilibrada se utiliza para llevar una señal de audio a decenas de metros, puede ocurrir que el efecto acumulativo de las interferencias sea inaceptable; además, se pueden formar bucles de tierra (ver Ficha Temática 13.2). Las líneas no equili-

bradas terminan normalmente con conectores del tipo «phono» (RCA), del tipo DIN o con *jack* de calibre «A» de un cuarto de pulgada.

En la figura 13.4 se muestra un método mejorado para la interconexión no equilibrada. El cable tiene ahora *dos* hilos en el interior de la pantalla, uno para el cable de señal y el otro para el retorno de ésta, en vez de retornar la señal por la malla exterior. La malla está conectada a tierra *en un sólo extremo,* proporcionando así una pantalla ante las interferencias sin afectar a la señal de audio.

13.3 Efectos del cable con líneas no equilibradas

13.3.1 Resistencia del cable

La resistencia del «bucle» es la resistencia suma de los caminos de ida y retorno para la señal, y generalmente, como la resistencia del cable es un par de ordenes de magnitud (o sea, un factor de 100) menor que la impedancia de entrada del equipo al que está conectado, puede ser despreciada. Por ejemplo, la impedancia de salida de un radiocasete podría ser de 200 ohmios y la de entrada del amplificador al que estaría conectado sería normalmente de 10 k o más. Por otro lado, la resistencia en CC de unos pocos metros de cable sería sólo de una fracción de ohmio, con lo que se podría despreciar esta última. ¿Qué ocurre con 100 metros de cable de micrófono? La impedancia de entrada de un amplificador de micrófono sería por lo menos 1000 ohmios; dos órdenes de magnitud menos son 10 ohmios. Así pues, incluso 100 metros de cable de micrófono tendrán una resistencia menor que este valor –a menos que se use un cable muy barato y fino–, y de nuevo podrá despreciarse a efectos prácticos.

Los cables de altavoz *sí* necesitan ser tomados en consideración, pues la impedancia de entrada de los altavoces es del orden de 8 ohmios. Los fabricantes de cables dan el valor de la resistencia en CC por unidad de longitud (normalmente 1 metro). Así, un cable típico para altavoz sería de unos 6 amperios y 12 miliohmios (0'012 ohmios) de resistencia por metro. Consideremos un cable de altavoz de longitud 5 metros. Su resistencia total sería de 10 metros multiplicado por 0'012 ohmios = 0'12 ohmios. Este valor es un poco grande para que podamos aplicar el criterio arriba mencionado, ya que un altavoz de 8 ohmios requiere un cable de unos 0'08 ohmios de resistencia. En la práctica, no obstante, esto sería perfectamente válido, ya que existen otros muchos factores que afectan a la calidad del sonido. Este hecho justifica el que se necesiten cables bastante pesados para los altavoces, pues de otro modo se perdería mucha potencia en ellos antes de que la señal alcance el altavoz.

Si se utilizara el mismo tipo de cable del ejemplo anterior para un altavoz de 8 ohmios situado a 40 metros, la resistencia sería aproximadamente de 1 ohmio y casi un octavo de la potencia del amplificador se perdería en forma de calor en el cable. Lo habitual es usar la longitud más corta de cable que sea posible o, si se necesitan largas tiradas de cable, usar el sistema de línea de 100 voltios (ver sección 13.8).

13.3.2 Inductancia del transformador y del cable

El efecto de la inductancia del cable (ver sección 1.8) se hace más notable en alta frecuencia, pero en audiofrecuencia es despreciable incluso para largas tiradas de cable. Por el contrario, la inductancia es extremadamente importante en los transformadores. Las bobinas de los transformadores están formados por un gran número de espiras de conductor; el campo electromagnético de cada espira se opone a los campos de las demás y el núcleo metálico también aumenta este efecto. Por lo tanto, la inductancia de cada bobina del transformador es muy alta y presenta una impedancia elevada para una señal de audio. Téngase en cuenta que para una frecuencia dada, cuanta más inductancia, mayor impedancia en ohmios.

13.3.3 Capacidad del cable

Cuanto más próximos estén los conductores de un cable, mayor será la capacidad (ver sección 1.8). La superficie de los conductores es también muy importante. La capacidad es contraria a la inductancia en el sentido de que, para una frecuencia dada, cuanto mayor sea la capacidad *menor* es la impedancia en ohmios. En un cable apantallado la malla encierra completamente al conductor interior y, por tanto, la superficie de la malla vista por el conductor central es muy grande. Como gran superficie implica gran capacidad, el cable apantallado presenta mayor capacidad que el de red ordinario. Por eso, cuando una señal de audio circula por un cable, ve una capacidad entre los conductores, y por lo tanto una impedancia entre ambos, que es distinta de infinito, especialmente a alta frecuencia. Como consecuencia de esto, una pequeña cantidad de señal puede derivarse a tierra a través de la pantalla.

En el esquema de la figura 13.5 se muestran dos resistencias de igual valor. Se aplica una tensión V_1 sobre las dos y, como el valor de las resistencias es el mismo, V_1 es dividido exactamente por la mitad y V_2 será $V_1 / 2$. Si aumentásemos ahora la resistencia inferior hasta un valor de 400 ohmios, entonces caería en ella el doble de tensión que en la superior. Así pues, la relación de las resistencias es igual a la relación de tensiones sobre ellas.

Consideremos un micrófono de 200 ohmios conectado a un cable de micrófono, como se muestra en la figura 13.6 (a). *C* es la capacidad entre la malla y el núcleo interior del cable. En la figura 13.6 (b) se muestra el circuito equivalente. Los fabricantes dan la capacidad de los cables en picofaradios (pF) por unidad de longitud, siendo un valor típico para cable apantallado el de 200 pF (0'0002 µF) por metro. Existe una fórmula sencilla para determinar la frecuencia a la cual se pierden 3 dB de señal para una capacidad y una resistencia dadas:

$$f = 159155 / RC$$

donde f = frecuencia en Hz; R = resistencia en ohmios, y C = capacidad en microfaradios (µF).

Para calcular la capacidad que causará una pérdida de 3 dB a 40 kHz, situándola a salvo fuera de la banda de audio, la fórmula debe ser retocada para obtener el máximo valor de capacidad aceptable:

$$C = 159155 / Rf$$

Así, si $R = 200$ (impedancia del micrófono), $f = 40000$:

$$C = 159155 \div (200 \times 40000) \approx 0'02\ \mu F$$

Por tanto, un valor máximo de 0'02 µF de capacidad del cable es aceptable para un conductor de micrófono. Como capacidad típica de cable se citó 0'0002 µF. Así pues, 100 metros darán 0'02 µF, que es el valor calculado como aceptable. Por lo tanto se podrían usar con

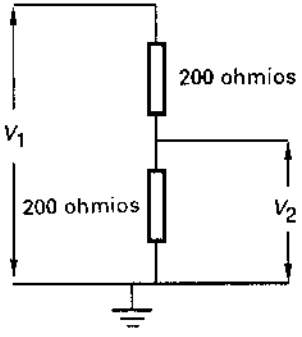


Figura 13.5 La tensión V2 a la salida es la mitad de la tensión de entrada V1.

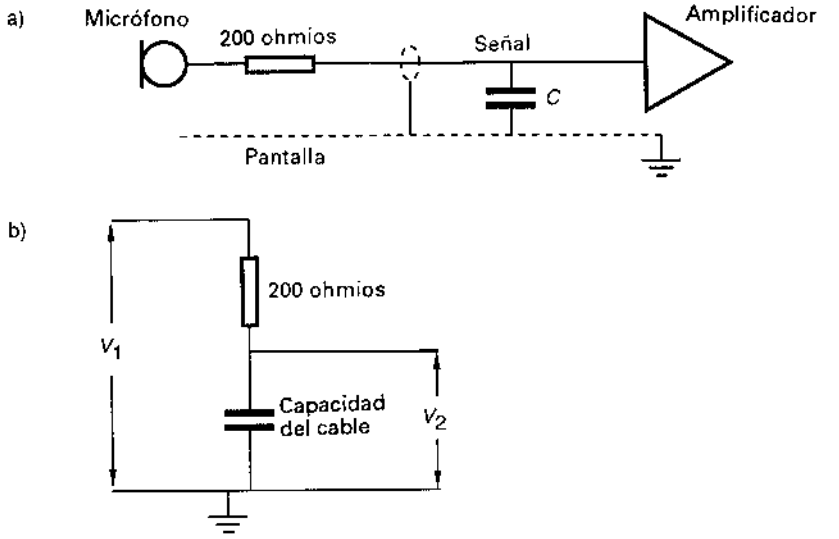


Figura 13.6 (a) Un micrófono con una impedancia de salida de 200 ohmios está conectado a un amplificador. La capacidad del cable conduce la alta frecuencia a tierra más que la baja frecuencia, y así el cable introduce una caída en AF. V_2 es menor en AF que en BF.

seguridad hasta 100 metros de este tipo de cable con un micrófono estándar de 200 ohmios sin incurrir en una pérdida significativa de señal a alta frecuencia.

El principio sirve igualmente para otros circuitos de audio. Analicemos un ejemplo más. Un cierto radiocasete tiene una impedancia de salida de 1 kΩ. ¿Qué longitud de cable se puede usar con seguridad? De la fórmula anterior:

$$C = 159155 \div (1000 \times 40000) \approx 0'004\ \mu F$$

En este caso, asumiendo la misma capacidad del cable, la máxima longitud es 0'004 ÷ 0'0002 = 20 metros. En la práctica, los equipos modernos de audio tienen, generalmente, una impedancia suficientemente baja para usar largos cables, pero es siempre aconsejable comprobarlo en la especificación del fabricante. Probablemente la necesidad de evitar largas tiradas de cable será de gran importancia debido a problemas de interferencia.

13.4 Líneas equilibradas o balanceadas

La línea equilibrada rechaza mejor interferencias que la no equilibrada, o desbalanceada; las mejoras sobre la respuesta de la línea no equilibrada en este respecto pueden ser 80 dB o más, para líneas de micrófono de alta calidad.

Como se muestra en la figura 13.7, el cable consiste en un par de conductores interiores cubiertos por una malla. En cada extremo de la línea hay un transformador «equilibrador». El amplificador alimenta el primario del transformador de salida y su tensión aparece en el secundario. Los caminos de ida y retorno para la señal de audio están constituidos por los dos conductores interiores; la pantalla no forma parte del circuito de audio. Así, si una señal de interferencia atraviesa la pantalla, se induce por igual en ambas líneas. En el primario del segundo transformador la corriente interferente inducida circula en el mismo sentido en ambos

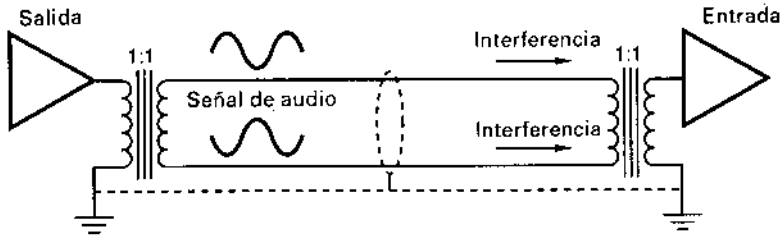


Figura 13.7 Interconexión equilibrada usando transformador.

conductores de la línea equilibrada, por ello se cancela y queda rechazada la señal de interferencia. Dos señales idénticas circulando en sentidos opuestos se cancelan cuando se encuentran.

Una señal de interferencia de este tipo se llama señal de «modo común» porque es igual y común a ambas líneas de audio. El rechazo de esta señal en el transformador se denomina «rechazo al modo común» (CMR).Se debe lograr una relación de rechazo al modo común (CMRR) de, al menos, 80 dB. Mientras tanto, la señal de audio legítima circula a través del primario del transformador como antes, puesto que la señal interferente aparece en cada extremo de la bobina con igual fuerza pero fase *opuesta*. Tal señal se denomina «señal diferencial» y la entrada equilibrada se llama «entrada diferencial» porque acepta señales de modo diferencial pero rechaza señales de modo común.

Así, las líneas equilibradas se usan para conexiones profesionales de audio, debido a su mayor rechazo a las interferencias. Esto es particularmente útil cuando al amplificador se envían sólo los preciosos milivoltios de un micrófono a lo largo de muchos metros de cable.

13.5 Utilización de las líneas equilibradas

Para evitar los bucles de tierra (ver Ficha Temática 13.2) en una línea balanceada, la pantalla se conecta a veces en un sólo extremo, como se muestra en la figura 13.8 (a); con esta conexión se mantiene el efecto pantalla sobre la línea de audio. Ahora no hay ninguna unión de tierra entre las dos partes del equipo, y pueden ser puestas a tierra en sus respectivas tomas de tensión con la seguridad de que no va a formarse un bucle. Los transformadores han «aislado» las dos piezas del equipo entre sí. El único peligro potencial que aparece es que una vez modificado el cable, desconectando la masa en uno de sus extremos, aquel quiera ser utilizado más tarde como cable de micrófono. La pérdida de continuidad de tierra entre el micrófono y el amplificador causará un apantallamiento inadecuado, e impedirá que pueda usarse alimentación fantasma (ver sección 4.9). Por este motivo, tales cables y líneas de audio deberían llevar la etiqueta «sin tierra» en el propio conector.

Desafortunadamente, no todos los equipos de audio tienen entradas y salidas equilibradas; así pues, se puede presentar el problema de tener que conectar una salida equilibrada con una entrada no equilibrada y/o una salida no equilibrada con una entrada equilibrada. Una solución para este problema se muestra en la figura 13.8 (b), donde el transformador de salida está conectado a la señal y a la tierra de una entrada no equilibrada para dar continuidad a la señal. Como la entrada es desbalanceada, no hay rechazo al modo común y la línea es tan susceptible a la interferencia como lo es una línea ordinaria no equilibrada. Obsérvese que la pantalla está conectada en un sólo extremo, así por lo menos se puede evitar el bucle de tierra.

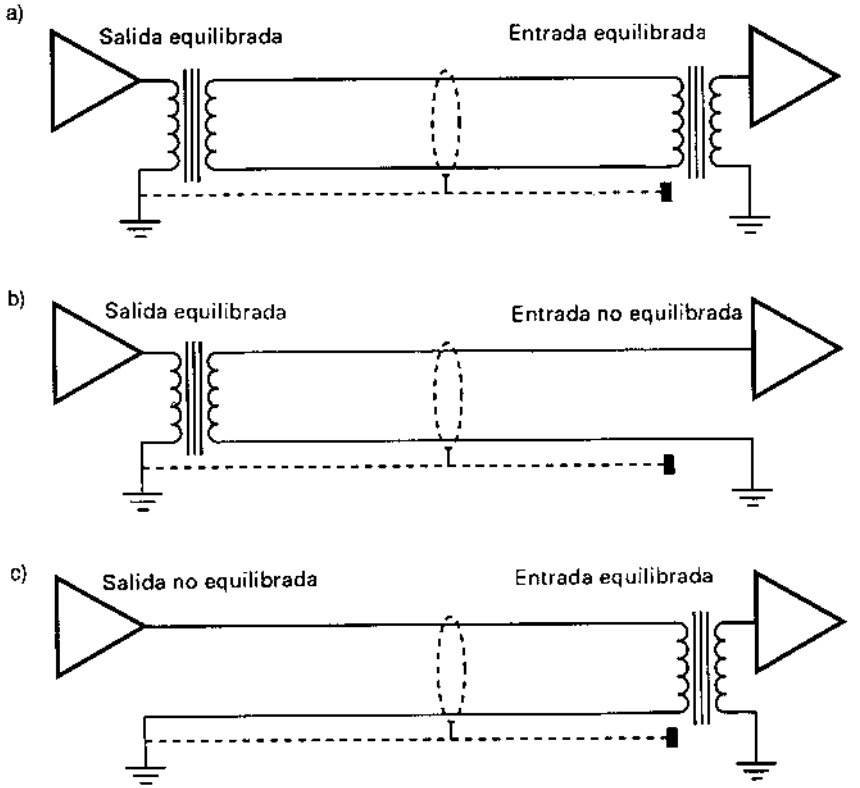
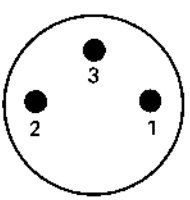


Figura 13.8 (a) Salida equilibrada a entrada equilibrada con pantalla conectada a tierra sólo a la salida. (b) Salida equilibrada a entrada no equilibrada. (c) Salida no equilibrada a entrada equilibrada.

FICHA TEMÁTICA **13.3** Conectores XLR-3

El conector balanceado más común en audio profesional es el XLR-3. Este conector tiene tres patillas (como se muestra en la figura) con la siguiente asignación:

patilla 1	Pantalla
patilla 2	Señal (vivo o «caliente»)
patilla 3	Señal (retorno o «frío»)



Conector macho visto desde el lado de las patillas

Es fácil recordar esta configuración, ya que X-L-R significa Xternal, Live, Return (externo, vivo, retorno).

Desafortunadamente, en algunos equipos todavía está en uso la norma americana. Dicha norma cambia la asignación de las patillas 2 y 3, haciendo que la 2 sea retorno (o terminal «frío») y la 3 vivo (o «caliente»). El resultado de esto es una aparente inversión de fase en las señales de los dispositivos que usan esta norma, cuando se las compara con una señal idéntica de un dispositivo estándar. Los equipos americanos modernos usan mayormente la norma europea, y los fabricantes americanos han accedido ya a aceptar este estándar.

La figura 13.8 (c) muestra una salida no equilibrada atacando a una entrada balanceada. La señal y tierra de la salida atacan al primario del transformador de entrada. De nuevo la pantalla no está conectada en un extremo, así se evitan los bucles de tierra. El rechazo al modo común de la interferencia en la entrada se pierde otra vez, porque un terminal del primario del transformador está conectado a tierra. Una solución mejor es usar un transformador equilibrador tan próximo a la salida no equilibrada como sea posible, preferiblemente antes de enviar la señal sobre cualquier longitud de cable. En último extremo sería una buena idea incluir transformadores equilibradores dentro del propio equipo no equilibrado, con tomas tipo XLR-3 (ver Ficha Temática 13.3), siempre y cuando lo permita el espacio interior del chasis. (¡Espere primero a que la garantía haya expirado!)

13.6 Cable de cuadretes

Dos líneas de audio nunca pueden ocupar exactamente el mismo espacio físico, y así cualquier interferencia inducida en una línea equilibrada puede ser ligeramente más fuerte en un conductor que en otro. El transformador ve este desequilibrio como una pequeña señal diferencial, que lo atravesará en forma de señal no deseada. Para ayudar a combatir esto las dos líneas de audio son trenzadas entre sí durante la fabricación, de forma que, por término medio, ambos conductores queden expuestos por igual a la interferencia a lo largo de toda la longitud del cable. Con el cable llamado de «cuadretes» «Star Quad» se ha ido incluso más allá. En este caso se incorporan cuatro líneas de audio dentro de la pantalla, como se muestra en la figura 13.9.

Su conexión se realiza como sigue. La pantalla está conectada como siempre. Los cuatro núcleos interiores están conectados por pares, de tal forma que dos de los conductores opuestos (el de arriba y el de abajo en la figura) se unen entre sí y se usan como una línea; los otros dos conductores –opuestos también– se usan como la otra. Los cuatro conductores son trenzados juntos a lo largo de todo el cable durante la fabricación. Esta configuración asegura que para una longitud de cable dada, ambas líneas de audio están expuestas a una señal de interferencia lo más parecida posible, de forma que se induzca en ellas por igual. Por esto, el transformador de entrada ve la interferencia como una señal de modo común virtualmente perfecta, y la rechaza fácilmente. Puede parecer que esto es llevar las cosas al límite, pero los cables de cuadretes son de hecho muy utilizados como cables de micrófono. Cuando se emplean cables multipares, que contienen muchas líneas de audio independientes, embutidas dentro de un mismo «macarrón» el sistema equilibrado proporciona una buena inmunidad ante la diafonía, debido al hecho de que una señal en un determinado conductor se induce por igual en el par de audio de la línea adyacente y, por lo tanto, será una señal en modo común. Los cables de cuadretes multipares dan incluso valores menores de diafonía.

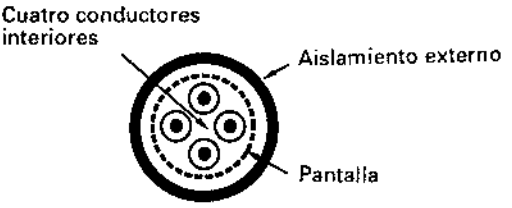


Figura 13.9 En un cable de cuadretes se usan cuatro conductores.

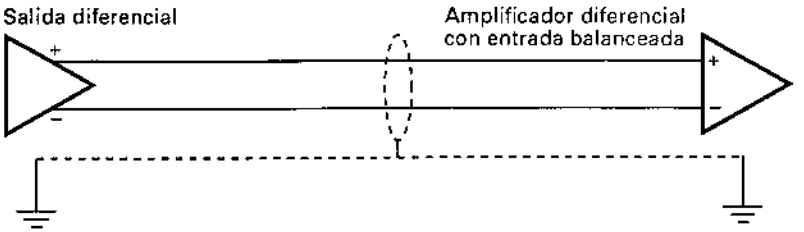


Figura 13.10 Interconexión equilibrada electrónicamente usando amplificadores diferenciales.

13.7 Equilibrado electrónico

Muchos equipos de audio son balanceados electrónicamente en vez de con transformador; esto se representa esquematicamente en la figura 13.10. Los transformadores han sido reemplazados por un amplificador diferencial, que está diseñado para responder sólo a señales diferenciales –como en el caso del transformador– presentando una entrada positiva y otra negativa. Los equipos balanceados electrónicamente y los balanceados con transformador se pueden mezclar entre sí con total tranquilidad. Las razones para prescindir de los transformadores son: menor coste (un buen transformador es bastante más caro que los componentes electrónicos que lo reemplazan); menor tamaño (los transformadores ocupan por lo menos algunos centímetros cúbicos; la alternativa electrónica ocupa bastante menos); menos susceptibilidad a las interferencias electromagnéticas, y bastante menos sensibilidad a las impedancias entre las que trabaja, con respecto a la distorsión, respuesta en frecuencia, etc.

Sin embargo, un buen circuito de equilibrado electrónico es difícil de diseñar, y el uso de un transformador de alta calidad en equipos de audio caros puede ser una apuesta más segura que un equilibrado electrónico de actuación desconocida. El mejor equilibrado electrónico es normalmente capaz de igualar el CMR del transformador. Los críticos del equilibrado con transformador citan como desventajas su distorsión a baja frecuencia y su incapacidad para dejar pasar las frecuencias extremadamente bajas, mientras que los críticos del equilibrado electrónico alegan que el transformador tiene mejor CMR, comparado con un amplificador diferencial, y que sólo el transformador ofrece verdadero aislamiento entre dispositivos. En radio y televisión se suele usar equilibrado con transformador porque las señales son transferidas a muy largas distancias y se requiere aislamiento; en los estudios de grabación, por otro lado, se suele usar el equilibrado electrónico, alegando que la calidad del sonido es mejor.

13.8 Líneas de 100 voltios

13.8.1 Principios

En la sección 13.3.1 se comentó que incluso la resistencia de cables bastante gruesos era suficiente para causar pérdida de señal en la interconexión con un altavoz, a menos que se usaran tiradas cortas de cable. Pero las tiradas largas para altavoz son a menudo inevitables. Por ejemplo: conexiones de altavoces entre bastidores y retransmisores en teatro; altavoces de pared en auditorios y salas de conferencias; altavoces de supermercados y fábricas; y sistemas de avisos por altavoces de bocina al aire libre, en parques de atracciones y fiestas. En todos estos casos se requieren largas tiradas de cable o, como alternativa, un amplificador

separador situado cerca de cada altavoz; cada amplificador estaría alimentado por la salida de línea de un mezclador o de un amplificador de micrófono. La anterior solución puede considerarse en muchos casos como innecesariamente cara y complicada. Partiendo de estos inconvenientes, fue desarrollada la «línea de 100 voltios» para que se pudieran emplear tiradas largas de cable de altavoz sin demasiada pérdida de señal en su recorrido.

El problema en la conexión normal con el altavoz es que el cable tiene una resistencia comparable, o incluso mayor, que la impedancia del altavoz en largas tiradas. Ya se dijo en la sección 13.1.2 que un transformador refleja la impedancia de acuerdo con el cuadrado de su relación de transformación. Supongamos que un transformador con una relación de transformación de 5:1 está conectado a la entrada de un altavoz de 8 ohmios, como se muestra en la figura 13.11. El cuadrado de la relación de transformación será 25:1, de forma que la impedancia sobre el primario del transformador es 25 x 8 = 200 ohmios. En este caso, la impedancia efectiva del altavoz es mucho mayor que la resistencia del cable, y la mayoría de la tensión alcanzará el primario del transformador; de allí pasa al secundario y finalmente al altavoz. Hay que tener en cuenta que el transformador también transforma tensión, y la tensión en el secundario será sólo la quinta parte de la que existe en el primario. Así pues, para producir 20 voltios en el altavoz se deben suministrar 100 voltios al primario.

En la figura 13.12 tenemos un sistema de línea de 100 voltios, en el que se conecta un amplificador de potencia de 50 W a un transformador con relación de elevación 1:5. La impedancia en el secundario es lo suficientemente baja como para ser despreciada, dado que la impedancia de salida de un amplificador de potencia está diseñada para ser extremadamente pequeña. La salida de 20 voltios/2'5 amperios del amplificador de 50 W es aumentada a 100 voltios al mismo tiempo que la corriente queda reducida a 0'5 amperios (ver Ficha Temática 13.1): la potencia total permanece constante. Así, a lo largo de la línea del altavoz hay una tensión más alta que antes y una corriente menor. La caída de tensión en la resistencia del cable es proporcional a la corriente que circula a través de él. Esta reducción de corriente significa que hay una caída de tensión mucho menor debida a la línea. En el extremo del altavoz, un transformador restaura dicha tensión a 20 voltios y la corriente a 2'5 amperios, y así se mandan al altavoz los 50 W originales.

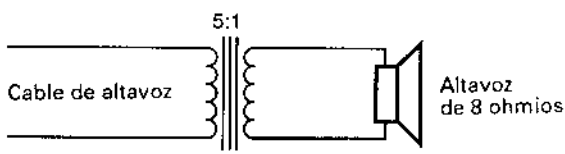


Figura 13.11 Acoplamiento de un altavoz mediante transformador, tal y como se usa en los sistemas de línea de 100 voltios.

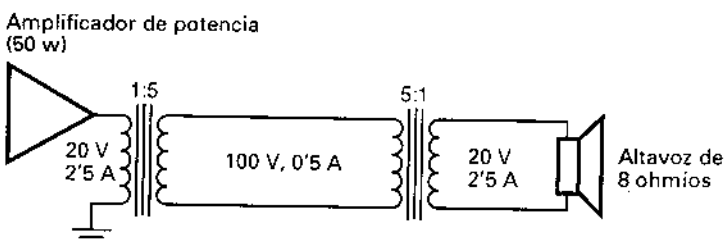


Figura 13.12 Relaciones tensión/corriente en un ejemplo de línea de 100 voltios.

En el ejemplo anterior se ha usado un amplificador de 50 vatios, pero se puede utilizar uno de cualquier potencia. El transformador se elige para que la relación de transformación proporcione la salida estándar de 100 voltios cuando el amplificador esté entregando su máxima potencia de salida. Por ejemplo, un amplificador de 100 W produce unos 28 voltios sobre 8 ohmios. Por este motivo, la relación de elevación del transformador de línea tendría que ser 28:100, ó 1:3'6, para dar la salida estándar de 100 voltios cuando el amplificador esté al máximo.

Volviendo al extremo del altavoz en el circuito, ¿qué pasa si el altavoz es de sólo 10 W? Los 100 W del amplificador anterior lo quemarían rápidamente, y por eso se debe elegir una relación de atenuación en el transformador para que reciba sólo 10 W. Como 10 W sobre 8 ohmios es equivalente a unos 9 voltios, el transformador debería tener una relación de atenuación de 100:9 ó, aproximadamente, 11:1.

13.8.2 Cómo trabajar con líneas de 100 voltios

Normalmente, los transformadores para líneas de altavoces tienen sus terminales identificados. En el lado del primario se puede elegir normalmente entre distintas potencias (por ejemplo: 30 W 20 W, 10 W, 2 W), y en el lado del secundario se dispone de diferentes valores de impedancia del altavoz: normalmente 15, 8 y 4 ohmios. Estas opciones significan que pueden conectarse diferentes sistemas de altavoces a lo largo de la línea (utilizando un transformador para cada grupo de altavoces), siempre y cuando el ajuste de la potencia sea el adecuado para la cobertura de todos ellos. Por ejemplo, imaginemos un sistema de megafonía instalado entre bastidores en un teatro. Supongamos que se necesitan altavoces para dar avisos en seis vestuarios, un lavabo de grandes dimensiones y un ruidoso camerino. Los vestuarios son pequeños y tranquilos, y por eso se emplean altavoces de 10 W conectados a las salidas de 2 W de los transformadores de línea. El lavabo de grandes dimensiones requiere mayor potencia en el altavoz; se utilizaría un altavoz de 10 W con un transformador de línea cableado para salida de 10 W. El camerino podría tener un altavoz de 20 W conectado a la salida de 20 W de otro transformador. De este modo, se le suministra a cada altavoz sólo la potencia necesaria para ser oído claramente en esa habitación particular. Un altavoz de 20 W en un pequeño vestuario se oiría demasiado alto, y uno 2 W en una habitación más grande y ruidosa sería insuficiente.

Cuando se añade al sistema una cadena de altavoces, se debe tener cuidado con que la potencia *total* de los altavoces no exceda la de salida del amplificador, o éste podría sufrir una sobrecarga. En el ejemplo, los seis vestuarios consumían 2 W cada uno (12 W en total); el lavabo consumía 10 W; el camerino 20 W. Por lo tanto, el total es 42 W, y serían adecuados un amplificador de 50 W y un transformador de línea, pero en la práctica, se elegiría un amplificador de 100 W para permitir en ambos un buen margen de seguridad, y suficiente potencia disponible por si se necesitaran conectar más altavoces en un futuro.

Con lo que hemos visto hasta ahora, podríamos preguntarnos por qué no se utiliza siempre el sistema de línea de 100 voltios para todos los sistemas de altavoces. Las razones son las siguientes: en primer lugar 100 voltios es una tensión lo suficientemente alta como para producir un «shock» eléctrico y por ello es potencialmente peligroso en el ámbito doméstico y otros lugares donde el público puede estar en contacto con un sistema con defectos de instalación. En segundo lugar, la calidad final del sonido se ve comprometida por la presencia de transformadores en las líneas de altavoces –son más difíciles de diseñar que los transformadores de nivel de línea y de micrófono, vistos anteriormente, porque tienen que manejar altas tensiones y corrientes de varios amperios– y aunque responden bien y son muy útiles en sistemas de altavoces para avisos e hilo musical, no se emplean en sistemas de megafonía de alta calidad, ni en equipos de alta fidelidad (Hi-Fi) o para monitores de estudio.

13.9 600 Ohmios

En las especificaciones de mezcladores, amplificadores de micrófono y otros equipos con salidas de nivel de línea se mencionan frecuentemente 600 ohmios. ¿Por qué 600 ohmios es un valor tan especial? Hay una respuesta sencilla: no lo es.

13.9.1 Principios

Como hemos visto, las impedancias de salida de los dispositivos de audio son bajas. El valor típico para micrófonos es de 200 ohmios y el mismo valor o incluso menor para salidas de nivel de línea. Por contra, las impedancias de entrada de los aparatos son mucho mayores: por lo menos 1-2 k para entradas de micrófono y 10 k o más para entradas de línea. Esto es así para asegurar que toda la tensión de salida de un equipo aparezca virtualmente en la entrada que le carga. También ocurre que impedancias de entrada más bajas conducen una corriente mayor para una tensión dada. El ejemplo obvio de esto podría ser un altavoz de 8 ohmios que recibe varios amperios de un amplificador de potencia. Así, una impedancia de entrada alta significa que sólo se necesita suministrar unas corrientes muy pequeñas por las salidas, y podríamos considerar que las señales de micrófono y de nivel de línea son puramente tensión, despreciando la corriente.

Esto funciona perfectamente bien, a menos que seas una compañía telefónica que necesite mandar sus señales a través de muchos kilómetros de cable. Para estas distancias, entra en juego un parámetro que no ha sido mencionado hasta ahora, el cual causaría pérdida de señal si no se le tomara en cuenta. Se denomina longitud de onda de la señal en el cable. La señal de audio es transmitida por la línea a casi la velocidad de la luz (3×10^8 metros por segundo). La longitud de onda más pequeña de dicha señal corresponderá al límite superior del espectro de audio y será de unos 14'9 km a 20 kHz.

Cuando un cable es lo suficientemente largo como transportar una longitud de onda completa o más, la señal puede ser reflejada a lo largo de la línea y provocar alguna cancelación en la señal primaria. Incluso cuando la tirada de cable es algo menor que una longitud de onda, tienen lugar ya algunas reflexiones y cancelaciones. Para paliar este efecto, el cable tiene que estar cargado correctamente, formando la denominada «línea de transmisión»; se debe cuidar que las impedancias de entrada y salida sean iguales. Hace muchas décadas se eligió el valor de 600 ohmios como estándar para las telecomunicaciones, y por eso se utiliza la «línea equilibrada de 600 ohmios» para enviar señales de audio en líneas cuya longitud tiene que ser mayor de 1'5 km, aproximadamente. Se eligió por ser una impedancia que requiere relativamente poca corriente, pero al mismo tiempo es lo suficientemente baja como para no permitir muchas interferencias, puesto que es más fácil para éstas afectar a un circuito de alta impedancia que a uno de baja. Así, empezaron a aparecer los equipos profesionales que presumían de «600 ohmios» para hacerlos compatibles con estas líneas. Desafortunadamente, mucha gente no se molestó en averiguar, o nunca entendió, por qué se necesitaban a veces 600 ohmios, y asumieron que esto era un estándar profesional de audio *per se*, más que un estándar de telecomunicaciones. Fue usado ampliamente en radiodifusión, que tiene paralelismo con las telecomunicaciones, y todavía hoy se puede encontrar en muchos equipos antiguos.

El estándar de 600 ohmios también dio auge al nivel de referencia normalizado de 0 dBm, que corresponde a 1 mW de potencia disipada en una resistencia de 600 ohmios. La tensión correspondiente sobre la resistencia de 600 ohmios a 0 dBm es 0'775 voltios, y esto conduce todavía a algunas personas a confundir dBm con dBu, pero 0 dBu se refiere simplemente a 0'775 voltios, sin hacer referencia alguna a potencia o impedancia. Los dBu son mucho más apropiados en equipos modernos, ya que, como se indicó antes, la corriente que circula en la

mayoría de los interfaces es despreciable y las impedancias varían; para actuar correctamente los dBm sólo deberían usarse en sistemas de 600 ohmios, a menos que se cite una impedancia alternativa (Ejemplo: en equipos de video, donde la carga de 75 ohmios es muy común, se usa a veces dBm (75 ohmios)).

13.9.2 Problemas con los equipos de 600 ohmios

Una impedancia de salida de 600 ohmios es demasiado alta para aplicaciones normales. Con 600 ohmios, 200 pF por metro de cable y una pérdida aceptable de 3 dB a 40 kHz, la máxima longitud de cable sería alrededor de 33 m, lo que es inadecuado para muchas instalaciones (esta pérdida en AF no ocurre cuando el sistema de 600 ohmios está adecuadamente adaptado, porque el cable asume las propiedades de las líneas de transmisión). Consideremos una situación donde se requiere un mezclador con una impedancia de salida de 600 ohmios para atacar a cinco amplificadores de potencia, cada uno con una impedancia de entrada de 10 k. Cinco cargas de 10 k en paralelo producen una impedancia efectiva de 2 k, como se muestra en la figura 13.13 (a). Por tanto, los 600 ohmios están cargados por 2 k, como indica la figura 13.13 (b). Si V_1 es 1 voltio entonces V_2 (por la Ley de Ohm) es sólo de 0'77 voltios. Casi un cuarto de la señal de audio se ha perdido y sólo se puede usar un máximo de 33 m de cable.

A pesar de esto, hay todavía uno o dos fabricantes que usan impedancias de 600 ohmios para presentarse como «profesionales». Aunque en realidad sus equipos son *menos* adecuados para uso profesional, como se ha demostrado. Una especificación que podemos encon-

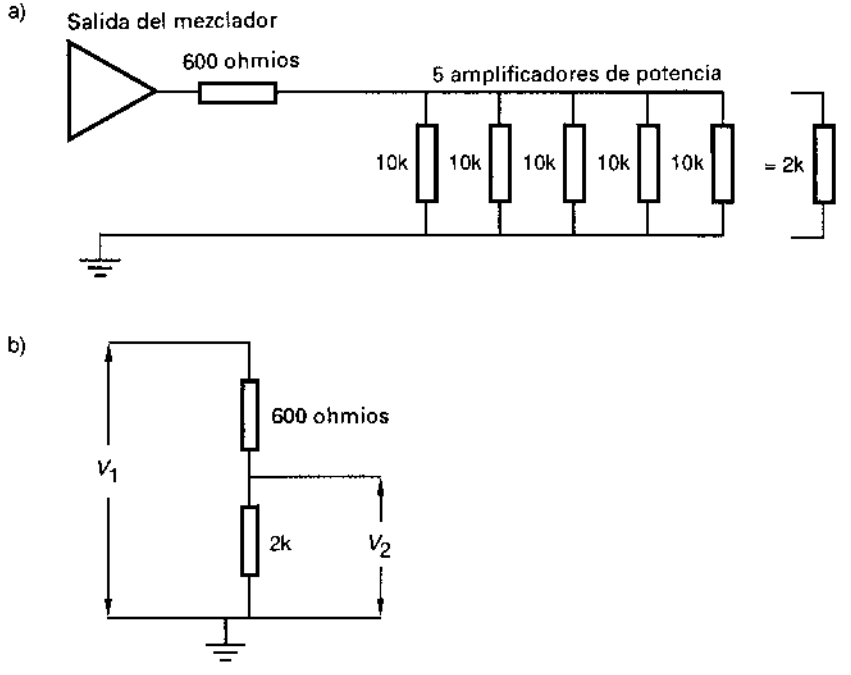


Figura 13.13 (a) Puede aparecer pérdida considerable de señal si se conecta una salida de 600 ohmios a varias entradas de 10 k en paralelo. (b) Circuito eléctrico equivalente.

tramos a menudo para una salida de línea es algo como: «capaz de entregar +20 dBu sobre 600 ohmios». Aquí +20 dBu es 7'75 voltios y 600 ohmios es una impedancia bastante baja, que consume más corriente de la fuente, para una tensión dada, que la que consumiría un carga de 10 kΩ, por ejemplo. La especificación anterior es bastante útil, porque le dice al usuario que el equipo puede manejar 7'75 voltios incluso sobre 600 ohmios, y puede alimentar con seguridad un conjunto de amplificadores de potencia y/o un número de radiocasetes, etc., sin sobrecargarse. Por ejemplo, a pesar de que un radiocasete doméstico tiene una impedancia de salida baja, no se le puede pedir que haga esto; su especificación dirá «2 voltios sobre 10 k o más». Esto es suficiente para aplicaciones domésticas, aunque se debería hacer un cálculo rápido antes de pedirle que alimente a todos los amplificadores de potencia del edificio a la vez.

13.10 Cajas DI

13.10.1 Generalidades

A menudo es necesario acoplar equipos que poseen salidas desbalanceadas no estandarizadas, con entradas balanceadas estándar de mezcladores, bien a nivel de línea o bien a nivel de micrófono. Por ejemplo, una guitarra eléctrica tiene una salida no equilibrada de impedancia bastante alta, alrededor de 10 kΩ. La toma de salida estándar es la clavija «jack mono» de un cuarto de pulgada. Con los controles de volumen de la guitarra al máximo se pueden esperar unos niveles de tensión de salida de alrededor de 1 voltio. No es correcto enchufar la guitarra directamente a la entrada de micrófono o de línea de un mezclador por las siguientes razones: la impedancia de entrada del mezclador será demasiado baja para la guitarra, para la cual es apropiada una impedancia de unos 500 kΩ o más; la salida de la guitarra no está equilibrada, por eso se pierden las propiedades de rechazo a las interferencias que sí tiene la entrada equilibrada del mezclador; la alta impedancia de salida de la guitarra hace imposible utilizar largas tiradas de cable en estudio; además, el guitarrista deseará a menudo enchufar su instrumento a un amplificador –además de al mezclador– usando la misma salida de la guitarra para alimentar ambos equipos. Lo hará a través de un cable que se desdobla en dos, conectando el amplificador a los equipos del estudio; esto será origen de serias interferencias y problemas de zumbido en BF. En otros instrumentos, tales como sintetizadores, pianos eléctricos y captadores de instrumentos acústicos, aparecen problemas similares.

Para conectar tales instrumentos con el mezclador, se emplea una unidad especial de interconexión, conocida como caja DI (DI= Inyección Directa). Esta unidad convertirá la salida del instrumento a una señal equilibrada de baja impedancia, reduciendo también su nivel de salida hasta el orden de los milivoltios para alimentar una entrada de micrófono. Además de la toma «jack» de entrada, tendrá otra más de salida para que la señal no procesada del instrumento pueda enviarse también a un amplificador. La salida equilibrada de baja impedancia aparece en forma de conector XLR-3 macho, que ahora puede ser considerado como la salida de un micrófono. Se dispone también de un conmutador supresor de tierra, que aísla la salida XLR de las masas de las tomas «jack» de entrada y salida; con esto se evitan los problemas del bucle de tierra.

13.10.2 Cajas DI pasivas

Las cajas DI más simples contienen sólo un transformador y se las llama «pasivas» porque no requieren ninguna alimentación. La figura 13.14 muestra el circuito. El transformador en este caso tiene una relación de reducción de 20:1, convirtiendo la salida del instrumento, que es bastante alta, en una salida más baja y adecuada para alimentar líneas de micrófono. La

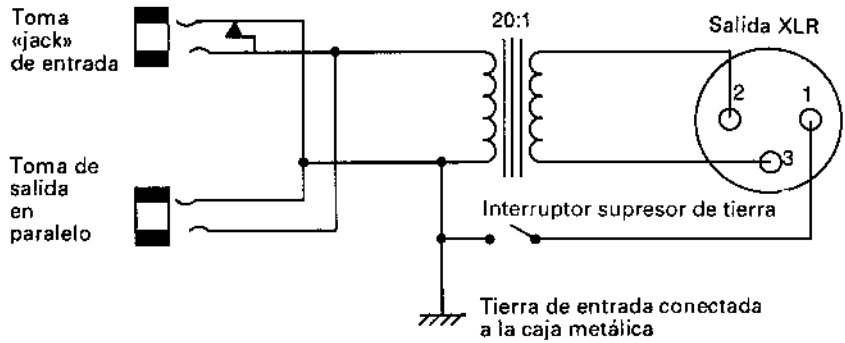


Figura 13.14 Caja pasiva de inyección directa.

impedancia se convierte de acuerdo al cuadrado de la relación de transformación (400:1). Así, la impedancia de salida típica de una guitarra (unos 15 kΩ) disminuirá a unos 40 ohmios, que es lo suficientemente baja para alimentar líneas de micrófono. La guitarra sigue viendo a su salida una impedancia alta. Por eso, si la impedancia de la entrada de micrófono del mezclador es 2 kΩ, el transformador la incrementará hasta 800 kΩ, que es suficientemente alta para la guitarra. La toma de salida en paralelo se usa para conectar la guitarra a un amplificador, si hace falta. Nótese la configuración de la toma «jack» de entrada: la apertura y cierre del contacto cortocircuita la entrada, lo cual garantiza la inmunidad de la caja frente a las interferencias, así como un nivel de ruido muy bajo cuando un instrumento no está enchufado. La inserción del «jack» abre este contacto, anulando el cortocircuito. El transformador aísla el instrumento de la alimentación fantasma en la línea del micrófono.

Este tipo de diseño de caja DI tiene las ventajas de ser barato, simple y de que no requiere alimentación; no hay pilas que podamos olvidar cambiar. Por otro lado, sus impedancias de entrada y salida son enteramente dependientes de las impedancias reflejadas a cada lado del transformador. Así, habrá casos en los que las bajas impedancias de una entrada de micrófono serán insuficientemente altas para muchas guitarras. Así mismo, los instrumentos de control de volumen pasivos pueden mostrar impedancias de salida de hasta 200 k, ajustados un poco por debajo del máximo, y esto causará una impedancia demasiado alta en la salida de la caja DI para líneas largas. Una relación de transformación fija en el transformador no es adecuada para toda la amplia variedad de instrumentos que la caja DI puede encontrar, si bien existen unidades que tienen interruptores adicionales para seleccionar distintas tomas en el bobinado del transformador, dando diferentes grados de atenuación.

13.10.3 Cajas DI activas

La caja DI activa sustituye el transformador por un circuito electrónico que presenta al instrumento una impedancia constante muy alta y proporciona una salida de impedancia baja, también constante. Además, la presencia de electrónica permite incluir otras características, tales como diferentes valores de atenuación conmutables (por ejemplo: -20 dB, -40 dB, -60 dB), filtros paso alto y paso bajo, etc. La caja se alimenta por baterías internas o, preferiblemente, a través de la alimentación fantasma de la línea de micrófono. Si se usan baterías, la caja debería tener un indicador de su estado; normalmente se incluye un interruptor de «test» que enciende un LED cuando la batería está bien y se enciende otro intermitentemente cuando la tensión de la batería cae por debajo de un cierto nivel. Los contactos de la toma «jack»

de entrada se configuran normalmente para que la inserción del «jack» encienda automáticamente la unidad. Por esta razón, debemos tener en cuenta que si el «jack» se deja en la unidad por la noche, por ejemplo, probablemente tendremos una pila menos a la mañana siguiente. Normalmente el consumo de corriente de una caja DI es sólo de unos pocos miliamperios, así la batería durará por lo menos cien horas. Algunos amplificadores de guitarra o teclado disponen de una salida independiente, balanceada, en una toma XLR macho etiquetada como «DI» o «studio», que pretende reemplazar a la caja DI; conviene hacer uso de esta toma.

Las cajas DI son generalmente pequeñas y ligeras, y pasan la mayor parte del tiempo en el suelo, siendo golpeadas y movidas de un lado a otro por músicos e ingenieros de sonido. Por lo tanto, se deberían usar cajas de metal robusto (no plástico) y todos los interruptores, LED, etc. deberían estar empotrados para mayor protección. Los interruptores no deberían resultar fáciles de accionar por los cables de guitarra y por los pies. La caja DI también se puede usar para interconectar equipos domésticos de alta fidelidad –como radiocasetes y radios– con entradas de micrófono equilibradas.

13.11 Cajas separadoras

La grabación o transmisión de acontecimientos en directo necesita que las salidas de micrófonos y de los instrumentos sean conducidas, al menos, a dos destinos: el mezclador de megafonía y el mezclador en la unidad móvil de grabación o de transmisión. El técnico de megafonía puede así equilibrar el sonido para la audiencia en directo, y el operador de la mesa de transmisión/grabación puede controlar independientemente la mezcla con unos criterios diferentes. Por supuesto que para esto es posible usar dos conjuntos de micrófonos totalmente independientes. Pero si consideramos que puede haber alrededor de 10 micrófonos sólo para la batería, y que un vocalista encontraría más bien incómodo el manejo de dos micrófonos encintados, y con dos cables saliendo de ellos, llegaremos a la conclusión de que la manera obvia de solucionar este problema es haciendo uso de cajas separadoras «splitters». Hace diez o quince años, los estudios de grabación y las compañías de radiodifusión se habrían quejado por esto, ya que la calidad de algunos de los micrófonos entonces usados para megafonía era insuficiente para sus necesidades. Pero hoy en día los micrófonos de megafonía pueden ser tan buenos como los que se emplean en los estudios de grabación, y de hecho muchos de los modelos son comunes a ambos campos.

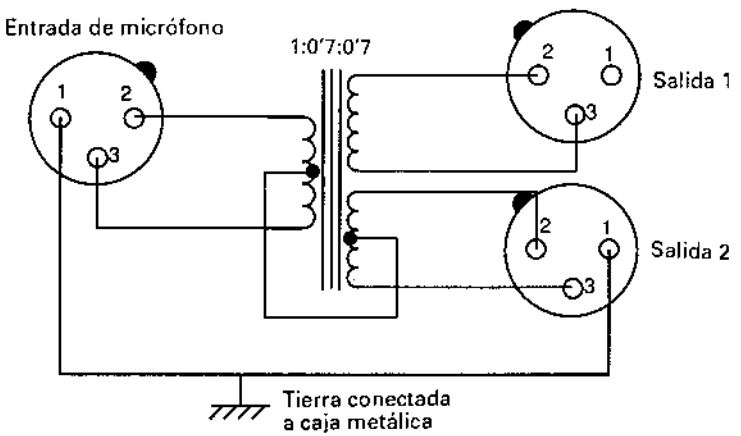


Figura 13.15 Ejemplo de caja separadora pasiva.

Un micrófono no se puede conectar directamente a las entradas de micro de dos mezcladores separados. Esto uniría eléctricamente un mezclador con el otro, causando un bucle de tierra y problemas de interferencia, sin mencionar el hecho de que el circuito de alimentación fantasma de un mezclador quedaría conectado directamente con el del otro. Por otro lado, la impedancia vista por el micrófono sería entonces el equivalente al paralelo de las impedancias de entrada de los dos mezcladores. Este valor podría caer hasta 500 ohmios, que es una impedancia demasiado baja para muchos micrófonos. Una caja separadora estará formada por un transformador con un bobinado primario para el micrófono y dos bobinados secundarios separados, que dan las dos salidas independientes, como se muestra en la figura 13.15.

El esquema requiere una pequeña explicación. En primer lugar, la alimentación fantasma debe llegar hasta el micrófono; la salida 2 la proporciona a través del terminal central de su bobinado que, a su vez, está unido al terminal central del primario. El cable de pantalla –unido normalmente a la patilla 1 de las tomas de entrada y salida XLR– está conectado sólo entre la entrada y salida 2 para dar apantallamiento al micrófono y a su cable; es también el camino de retorno para la alimentación fantasma. Nótese que la patilla 1 de la salida 1 se deja desconectada, para que no se puedan crear bucles de tierra entre las dos salidas.

Consideremos ahora la relación de transformación, que es 1:0'7:0'7. Esta relación indica que cada bobina secundaria tiene sólo 0'7 veces las espiras del primario y, por lo tanto, la tensión de salida de cada uno de los secundarios será 0'7 veces la salida que entrega el micrófono, lo que equivale a una caída de unos 3 dB. Aparecen así unas pérdidas de inserción en el transformador de esta caja separadora. La razón de esto es que no se debe permitir que la impedancia que ve el micrófono sea demasiado baja. Si las bobinas tuvieran el mismo número de espiras, el micrófono vería la impedancia sobre cada salida directamente en paralelo. Por ejemplo: dos mezcladores con impedancias de entrada de 1 kΩ sólo cargarían al micrófono con 500 ohmios, que es un valor demasiado bajo. Pero, la relación de transformación usada en el ejemplo significa que cada impedancia de 1 kΩ se ve aumentada por un factor de $1:(0'7)^2 \approx 1:0'5$, y cada entrada de mezclador aparece como 2 kΩ al micrófono, dando una impedancia resultante del paralelo de 1 kΩ –igual al valor de cada mezclador por sí mismo– lo que está bastante bien. La pérdida de 3 dB en la señal va acompañada por una división a la mitad de la impedancia que del micrófono ve cada mezclador. Esto es debido una vez más a la conversión de impedancias del transformador según el cuadrado de la relación de transformación; con este sistema no existe pérdida en la relación señal/ruido.

Debido a la sencillez de una caja separadora, sólo se necesita un transformador de alta calidad y una caja de metal con las necesarias tomas de entrada y salida. Existen también dispositivos electrónicos activos, que eliminan la pérdida por inserción y pueden incluso introducir una ganancia extra si se necesita. Las ventajas de un «splitter» activo sobre uno que utilice el transformador son, sin embargo, menos importantes que las ventajas que una caja DI activa tenía sobre la correspondiente pasiva.

13.12 Panel de «jacks»

13.12.1 Generalidades

Un panel de «jacks», o panel de conexiones (conocido a veces como «patchpanel»), proporciona un medio versátil y de fácil uso para interconectar temporalmente los distintos equipos y líneas en un entorno de trabajo determinado. Gracias a él se pueden establecer rápidamente diferentes configuraciones entre fuente y destino, capaces de satisfacer cualquier necesidad que pueda surgir.

Por ejemplo, una gran consola de mezclas puede tener entradas de micrófono, entradas de línea, salidas principales, salidas de grupo, salidas auxiliares, y caminos separados para la ida

y retorno de todos los canales de entrada y salida. Para acceder a cualquiera de estas entradas o salidas por separado, se emplea un panel de conexiones. Este puede estar formado por un montón de módulos de 19 pulgadas (48 cm) de ancho, montados en un bastidor y rellenos de filas de clavijas hembras balanceadas del tipo «GPO» (Telecom), de 1/4 de pulgada. Normalmente hay 24 tomas «jack» en una fila, pero a veces se pueden encontrar 20 ó 28. Mediante cables multipares se une el mezclador con el panel de conexiones. En el extremo del mezclador se emplean normalmente conectores de muchas patillas. En el extremo del panel de conexiones también se pueden usar este tipo de conectores, pero sólo si los multipares no están cableados de una manera fija al panel. En la sección 6.4.9 vimos el esquema de un panel de conexiones dentro de un mezclador.

Además del «patchpanel» del mezclador, habrá otros paneles en el mismo bastidor, o en otro adyacente, que proporcionen puntos de conexión para los demás equipos y líneas disponibles. En la sala de control de un estudio de grabación podemos encontrar: entradas y salidas del multipista, cables de micrófono y línea que unen la sala de control con el estudio, entradas y salidas de distintos procesadores de señal externos y líneas «punto a punto» con otras salas de control o estudios dentro del complejo. Un estudio de radiodifusión contará con similares vías de conexión, y podrá tener, además, envíos hacia los transmisores o distribuidores, y líneas dedicadas que unan el estudio con salas de conciertos cercanas, por ejemplo. Finalmente, en un teatro se emplearán paneles de conexiones para unir distintos puntos dentro de la sala, como pueden ser bastidores, alas laterales, foso de orquesta y prácticamente a cualquier punto del teatro. No hay nada parecido a las interconexiones que tienen lugar en un teatro.

13.12.2 Puentes de conexión

Los puentes de conexión se usan para unir dos tomas dentro de un panel de conexiones. Estos cables apantallados, de alrededor de 1 metro de longitud (conocidos vulgarmente como «latiguillos»), terminan en cada extremo en una clavija «jack» macho de calibre «B» (punta fina) que permite unir los tres hilos de un cable apantallado: punta/anillo/cilindro. La punta del «jack» es el vivo (corresponde a la patilla 2 en XLR), el anillo es el retorno (patilla 3 en XLR) y el cilindro es tierra (patilla 1 en XLR). Todo ello permite hacer conexiones equilibradas. El cable o «cordón» de conexión normal es de color rojo; los amarillos indican que el cable invierte la fase de la señal (o sea, la punta del «jack» de un extremo está conectada al anillo en el otro extremo) aunque esta norma no se sigue rígidamente, dando lugar a posibles errores; por último, los cables verdes indican que la tierra se ha dejado desconectada en un extremo. Se usarán si hubiera un bucle de tierra cuando se interconectan dos equipos alimentados por separado.

Algunas veces se puede insertar en una toma tipo GPO un «jack» de calibre «A» (punta gruesa), de los que se encuentran en el extremo de la mayoría de los auriculares estéreo, y que a menudo se les llama «jack» estéreo (aunque originariamente era usado como un «jack» equilibrado de línea simple, antes de que apareciera el estéreo). Esta inserción funciona perfectamente, pero la lengüeta interna de la clavija hembra está diseñada para hacer contacto seguro con la punta de «jack» pequeña –tipo «B»– y si introducimos una punta grande puede llegar a doblarse dicha lengüeta. Si a continuación insertásemos de nuevo la clavija que le corresponde (la fina) pueden aparecer falsos contactos entre la punta del «jack» y la lengüeta deformada. Por tanto, debemos evitar el uso de las clavijas gruesas en este tipo de paneles.

13.12.3 Normalización

Por regla general, no será necesario utilizar los puntos de inserción del panel de conexiones. Por tanto, la toma de inserción de ida, o «envío», debe quedar conectada a la toma de inserción de «retorno» mediante un puente interno permanente, para tener continuidad en la señal. Ahora bien, cuando tenemos que conectar un equipo externo, el «envío» se usa para alimen-

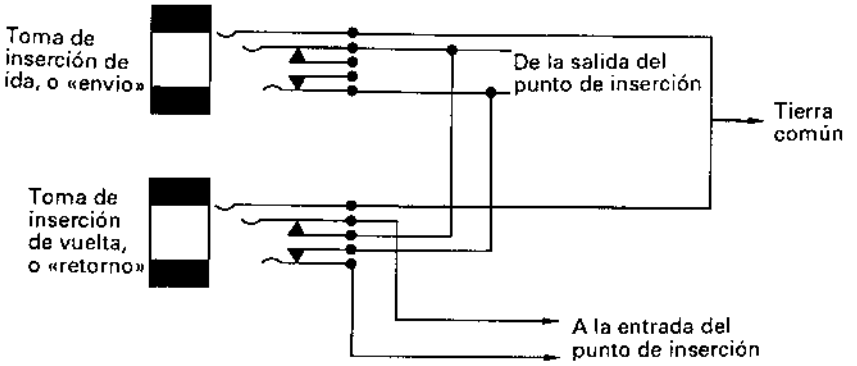


Figura 13.16 Norma de conexión en los puntos de inserción de un panel de conexiones.

tar la entrada de este equipo, y la salida del mismo se conecta a la toma de «retorno» en el panel de conexiones. Esto significa que debe deshacerse el puente interno que une por defecto el «envío» con el «retorno», y reemplazar este último por la señal procedente del equipo externo. Para efectuar este tipo de conexiones, la toma «jack» hembra debe disponer de contactos adicionales. La figura 13.16 muestra cómo se hace esto. La señal se lleva de la clavija superior a la clavija inferior (ambas son clavijas «jack» hembra del panel de conexiones) a través de los contactos correspondientes en las lengüetas (triángulos negros en la toma inferior), existiendo de esta forma continuidad en la señal de entrada. Si ahora se insertara un «jack» en la toma inferior, los contactos se abrirían dejando al aire los triángulos negros; o sea, se desconecta la señal procedente de la toma superior y se sustituye por la señal que llega a través del «jack» que hemos insertado. Si insertamos un «jack» sólo en la toma superior, no afectará a la continuidad de la señal, puesto que los contactos de apertura y cierre de la toma (triángulos) se dejan sin conectar. Por lo tanto, la toma de «envío» proporciona simplemente una señal de salida para alimentar a cualquier equipo externo.

Algunas veces, estos contactos de apertura y cierre se cablean para que la señal se interrumpa también si se inserta un «jack» sólo en la toma de «envío». Esto puede resultar útil si se requiere un destino alternativo, como una salida de grupo, por ejemplo. La inserción de un «jack» en la toma de «envío» cortará automáticamente la salida de grupo y permitirá que su señal se conecte a cualquier otro equipo, sin afectar a la conexión original. Sin embargo, este tipo de cableado es mucho menos frecuente que el anterior.

Además de para disponer de puntos de inserción, la conexión normalizada de la figura 13.16 puede usarse también para conectar salidas de grupo de un mezclador a las entradas de un magnetófono multipista o a un conjunto de amplificadores de potencia. Las entradas del multipista o del amplificador tendrán su correspondiente toma en el panel de conexiones, y las salidas de grupo del mezclador estarán unidas directamente a ellas según el esquema descrito. Si es necesario, las tomas de entrada pueden ser desconectadas para atacar las entradas con señales alternativas, quedando desconectadas automáticamente las salidas de grupo.

13.12.4 Otras aplicaciones del panel de conexiones

El panel de conexiones ofrece también otras posibilidades que pueden resultar de gran utilidad. Una de ellas consiste en incluir filas múltiples de «jacks» conectados entre sí. Están formadas por seis, ocho, o incluso muchas más, tomas adyacentes que están cableadas en paralelo. Llevando a una de ellas la salida de un mezclador, por ejemplo, se pueden utilizar las

restantes salidas para atacar, en paralelo, a distintas entradas de amplificadores de potencia o varios magnetófonos. El inconveniente que presenta esta distribución es que si hay un cortocircuito o una señal de interferencia en cualquiera de las entradas, se verán afectadas todas las tomas, pues no hay aislamiento entre ellas.

Los equipos externos estarán equipados generalmente con conectores de entrada y salida tipo XLR (a veces tomas «jack» mono). Por lo tanto, es útil tener un panel de tomas XLR macho y hembra cerca de donde esté situado dicho equipo externo; al mismo tiempo, estarán cableados con una de las filas del panel de conexiones principal para facilitar las conexiones de estos equipos con el mezclador o con una línea «punto a punto».

Además de los propios para conducir la señal de audio, en las clavijas «jack» hembra se pueden incluir otro tipo de contactos, que operan de la misma forma, pero que están totalmente aislados de la señal de audio. Se pueden usar para activar luces de aviso que digan a los operadores que cierto equipo se está usando, por ejemplo.

Como la mayoría –sino todas– de las interconexiones en una instalación pasan a través del panel de conexiones, es esencial que los contactos sean de buena calidad, dando una garantía de buen funcionamiento. Se emplea el metalizado de paladio, ya que es bastante duro y ofrece una buena resistencia al desgaste y a la oxidación. Debería tenerse en cuenta esto cada vez que se vaya a comprar un panel de conexiones. Los metalizados de oro y plata no se utilizan en aplicaciones profesionales porque rápidamente se desgastan con el uso; además el último se deslustra fácilmente.

Existe una versión miniatura conocida como «jack» Bantam. Este tipo se usa frecuentemente en las zonas de control de los mezcladores para disponer de acceso al conexionado. Se pueden montar paneles de conexiones de alta densidad, los cuales pueden presentar problemas en su cableado interno, debido a lo próximos que están los conectores entre sí. Algunos de los primeros prototipos de paneles de conexión de tipo Bantam resultaron ser de poca confianza e inadecuados para uso profesional. Los modelos posteriores son bastante mejores y, por supuesto, se deberían siempre especificar los contactos de paladio.

Los paneles de conexión controlados electrónicamente no utilizan «latiguillos» de interconexión. Tales sistemas consisten en un una «caja» controlada digitalmente, que maneja un determinado número de tomas de entrada y salida. A éstas se conectan las correspondientes entradas y salidas del mezclador, así como distintas líneas «punto a punto», y uniones con magnetófonos o con cualquier otro equipo auxiliar. La unidad se controla con ayuda de un teclado, y mediante una pantalla específica se muestra el estado de las conexiones. Para facilitar el manejo, las ordenes de conexión pueden introducirse identificando cada entrada y cada salida por un nombre, dependiendo de la configuración de cada etapa. Cualquier salida puede ser enviada a cualquier entrada, y cableada de tal forma que se pueda llevar al número de entradas que sea necesario. Con ayuda de la memoria de que dispone el sistema, se pueden almacenar distintas configuraciones preestablecidas, y utilizarlas en cualquier momento; de esta forma se consiguen conexiones rápidas y eficaces. Esta opción se puede utilizar junto con el código de tiempo para conmutar automáticamente en ciertos puntos elegidos durante una mezcla, por ejemplo. Otra posibilidad es también el control MIDI.

13.13 Amplificadores distribuidores

Un amplificador de distribución se utiliza para, a partir de una entrada, disponer de varias salidas iguales, aisladas entre sí y con control de nivel independiente para cada una de ellas. Se usa muy a menudo en centros de radiodifusión y en cualquier otra situación donde sea necesario disponer de «copias» de una misma señal para enviarlas a lugares independientes. Este diseño es preferible a una simple conexión en paralelo, ya que cada salida no se ve afectada por lo que haya conectado en las otras, evitando que una cargue a otra o interfiera con las demás.

Capítulo 14

Equipamiento externo

El término equipamiento externo se refiere dispositivos tales como ecualizadores paramétricos, ecualizadores gráficos, líneas de retardo, dispositivos de eco, unidades de dinámica, procesadores multiefectos, puertas y simuladores de recintos. Todos ellos ofrecen posibilidades que no están disponibles normalmente en la mesa de mezclas, aunque algunas mesas ya incorporan ecualización paramétrica y control de dinámica.

14.1. El ecualizador gráfico

El ecualizador gráfico, representado en la figura 14.1, consta de una fila de controles deslizantes «faders» (o a veces controles rotatorios), cada uno de los cuales puede atenuar o realzar una banda de frecuencias relativamente estrecha. Existen aparatos simples de 4 ó 5 bandas que están orientados al mercado de la música electrónica y que son controles de tono multibanda. Pueden resultar útiles como ampliación de los controles de tono básicos que tienen, por ejemplo, las guitarras y amplificadores; muchos amplificadores, de hecho, los llevan incorporados.

Un ecualizador gráfico profesional para montar en bastidor «rack», deberá tener, al menos, 10 bandas de frecuencia, separadas a intervalos de una octava o de tercios de octava. Las frecuencias centrales ISO («International Standards Organisation», Organización Internacional de Normalización) para bandas de octava son 31 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz y 16 kHz. Cada *fader* puede atenuar o realzar su correspondiente banda unos 12 dB o más. La figura 14.2 muestra dos posibles tipos de actuación del filtro. Se ha elegido el *fader* de 1 kHz y se representan tres niveles de atenuación y de realce. La máxima

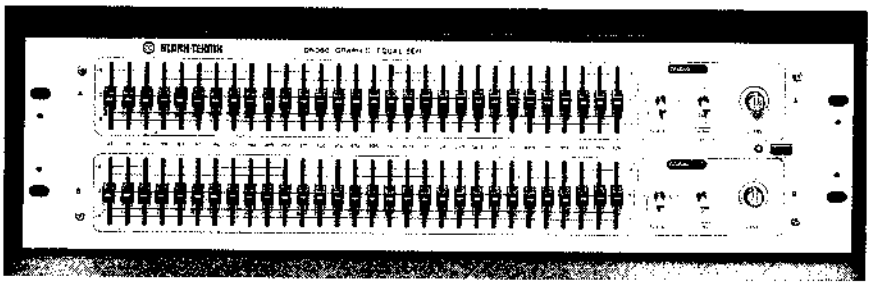


Figura 14.1 Ejemplo de ecualizador gráfico típico de 2 canales (cortesía de Klark-Teknik Research Ltd.).

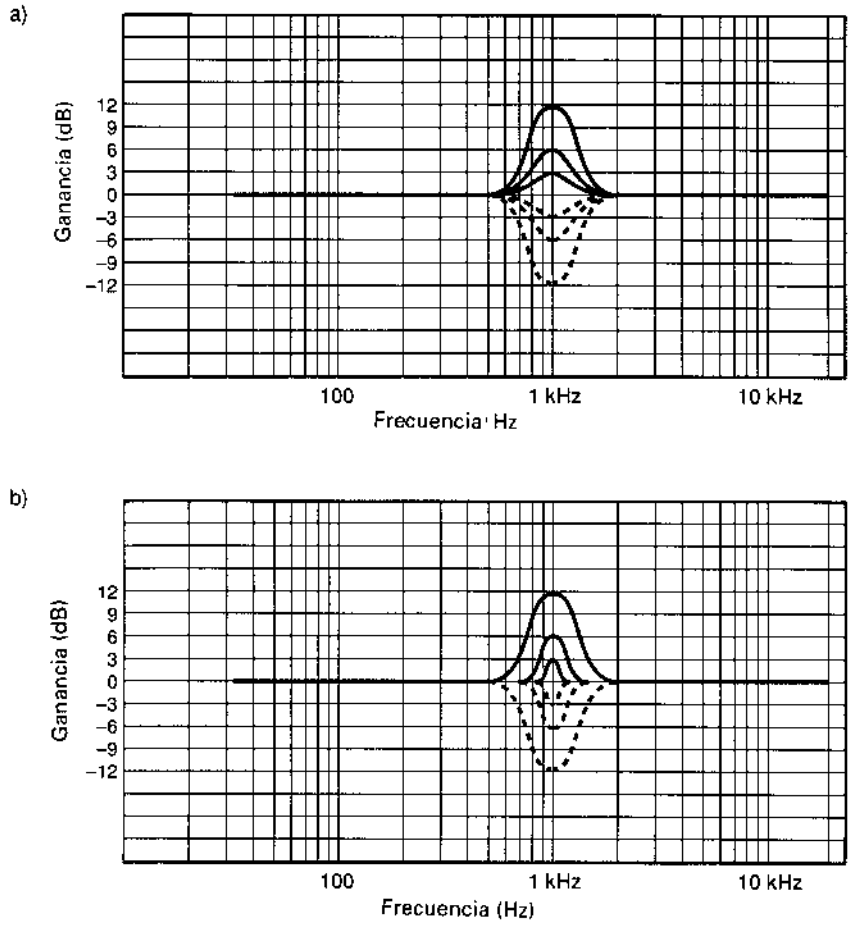


Figura 14.2 Dos tipos diferentes de actuación en filtros, mostrados cada uno con varios grados de realce y atenuación. (a) Ecualizador gráfico típico con Q dependiente del grado de realce/atenuación. (b) Filtro de Q constante.

actuación en ambos casos produce un Q (ver Ficha Temática 6.6) muy parecido. En las dos situaciones se obtiene un Q elevado cuando se aplica el máximo realce o atenuación. El primero de los tipos actúa de manera más suave cuando el grado refuerzo o atenuación es menor; por otro lado, el Q varía según el grado de desviación del *fader* con respecto a su posición central. Muchos ecualizadores gráficos se ajustan a esta forma de actuación, que tiene la desventaja de que cuando se aplican niveles bajos de atenuación o realce se está afectando a un amplio ancho de banda.

El segundo tipo mantiene en todo momento un control sobre el ancho de banda para cualquier valor de realce/atenuación; a este tipo de filtros se les denomina de Q constante, puesto que el valor de este parámetro se mantiene prácticamente invariable a lo largo de todo el recorrido del *fader*. Esto es particularmente importante en el caso del ecualizador gráfico de tercios de octava, en el que debe procurarse que sus 30 bandas independientes no interfieran demasiado entre sí. Las frecuencias centrales ISO para las 30 bandas son: 25 Hz, 31 Hz, 40

Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 180 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1 kHz, 1k25 Hz, 1k8 Hz, 2 kHz, 2k5 Hz, 3k15 Hz, 4 kHz, 5 kHz, 6k3 Hz, 8 kHz, 10 kHz, 12k5 Hz, 16 kHz, y 20 kHz. La razón por la que se utilizan las frecuencias centrales estándar está en el hecho de que el equipamiento complementario, como son los analizadores de espectros, que a menudo se utilizarán junto con los ecualizadores gráficos, tienen sus escalas centradas en las mismas frecuencias.

Incluso utilizando filtros de Q constante, el ecualizador gráfico analógico convencional todavía adolece de interacción entre filtros adyacentes. Si se aplican 12 dB de realce a una frecuencia y 12 dB de atenuación a la siguiente, por ejemplo, el resultado será más parecido a un realce y atenuación de 6 dB, con una respuesta intermedia y un valor de Q indefinido. Una situación extrema como ésta es, no obstante, bastante improbable. Por su parte, el ecualizador gráfico digital aplica atenuación y realce en el dominio digital, lo que permite definir perfectamente el ancho de las bandas, sin que interfieran unas con otras.

Algunos ecualizadores gráficos disponen de un solo canal y otros son estéreo. Todos tienen un control de nivel general y un interruptor de anulación del efecto «bypass»; muchos de ellos disponen también de filtros paso bajo de pendientes pronunciadas para cada canal. Resulta bastante útil contar también con un indicador luminoso de saturación -normalmente un diodo LED- que se enciende justo antes de que la señal se recorte, e indica que ha habido una sobrecarga en cualquier punto del circuito dentro de la unidad. En algunas ocasiones esto puede ser provocado por altos grados de realce. Algunos ofrecen solamente atenuación, por lo que son útiles como filtros ranura «notch filters» para eliminar frecuencias de realimentación en sistemas de megafonía. Otros, sin embargo, se pueden conmutar entre realce/atenuación o sólo atenuación. En muchas ocasiones se le pide al ecualizador que sea capaz de cargar líneas muy largas, en casos en los que, por ejemplo, debe situarse entre la salida del mezclador y la entrada de los amplificadores de potencia; se debe buscar para estos casos la especificación «+20 dBu sobre 600 ohmios», como ocurre en los mezcladores. Sin embargo, suele ser más corriente encaminar el ecualizador gráfico a través de las salidas de inserción del mezclador, de forma que los medidores del nivel de salida de éste muestren el efecto que está teniendo el ecualizador gráfico sobre la señal. La relación señal/ruido debería ser al menos de 100 dB.

El ecualizador gráfico se puede utilizar como una mera herramienta creativa, proporcionando control de tono según las preferencias de cada usuario. Se emplea también muy a menudo para proporcionar un control del balance global de frecuencias en las torres de megafonía. Desde antiguo se vienen usando para ecualizar los altavoces de las salas de control, pero por lo general se obtienen resultados pobres, debido al echo de que el micrófono de un analizador de espectros recoge la respuesta en frecuencia completa de la sala, mientras que el balance de frecuencias percibido es una compleja combinación de los sonidos directo y reflejado que llegan en instantes diferentes. El ecualizador gráfico también puede modificar la respuesta en fase de las señales que maneja; de hecho, en las salas de control ha habido una tendencia a evitar su uso en la ecualización de monitores, sustituyéndolo por ajustes sobre la acústica de la propia sala.

El ecualizador paramétrico se describió completamente en la sección 6.4.4.

14.2 El compresor/limitador

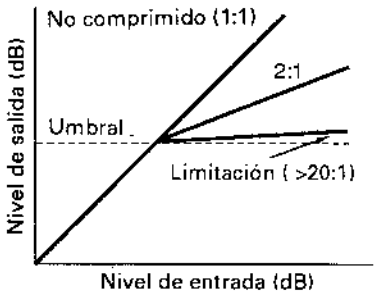
El compresor/limitador (ver Ficha Temática 14.1) se utiliza para el control de dinámica y como protección contra el recorte de la señal. En la figura 14.3 se muestra un dispositivo de este tipo. Son tres los principales parámetros que pueden variarse dentro de un compresor/limitador: ataque «attack», la recuperación o caída «release» y el umbral «threshold». El tiempo de ataque, en microsegundos (µs) y milisegundos (ms), es el tiempo que tarda un limitador en reaccionar frente a una señal. Para evitar el recorte de la señal se puede utilizar un tiempo

FICHA TEMÁTICA 14.1

Compresión y limitación

Un compresor es un dispositivo capaz de hacer que el nivel de la señal de salida varíe a un ritmo diferente a como lo hace la señal de entrada. Por ejemplo, un compresor con una relación de 2:1 dará un nivel de salida que cambia sólo la mitad de lo que lo hace la entrada, a partir de un cierto umbral (ver figura). Así pues, si el nivel de entrada fuera a cambiar en 6 dB, la salida sólo variaría en 3 dB. Existen también otras relaciones de compresión tales como 3:1, 5:1, etc. Con las relaciones más altas, el nivel de salida varía sólo en una pequeña cantidad respecto a los cambios en el nivel de entrada, lo que hace útil a este dispositivo para reducir el margen dinámico de una señal. El umbral de un compresor determina el nivel de señal por encima del cual tendrá lugar la acción.

Un limitador es un compresor con una relación de compresión muy alta. Se utiliza para asegurar que el nivel de la señal no se eleve por encima de un determinado umbral. Un limitador «suave» tiene una acción que funciona sólo suavemente por encima del umbral, en lugar de actuar como si fuera un muro, mientras que un limitador «duro» tiene casi el efecto de recortar cualquier señal que exceda el umbral.



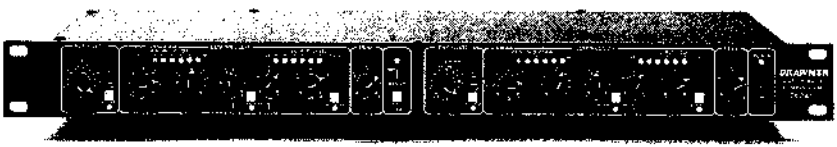


Figura 14.3 Un compresor/limitador típico (Cortesía de Drawmer Distribution Ltd.).

de ataque muy rápido, de 10 µs, que pone inmediatamente bajo control cualquier transitorio de alto nivel. Un tiempo rápido de caída restaurará rápidamente la ganancia de forma que sólo se rebajarán los picos de muy corta duración.

Se puede producir un efecto de «encogimiento» (una excesiva reducción de la dinámica) utilizando un ataque rápido seguido de una recuperación de unos 2-300 ms. El valor de umbral se elige de tal forma que la limitación empiece a actuar ante un nivel moderado de señal, para que los picos resulten atenuados antes de que la ganancia se restaure rápidamente a su valor inicial. Este efecto no es apropiado para la palabra, pero resulta útil para los micrófonos que captan el sonido de los platillos de una batería, por ejemplo.

Un tiempo lento de recuperación de varios segundos, junto con un umbral moderado, dejará reducida la dinámica de la señal a una estrecha ventana, permitiendo producir una señal de mayor valor medio. Esta técnica se utiliza a menudo para los micrófonos de vocalistas, con objeto de obtener un nivel vocal constante para un determinado cantante. La radio AM se comprime según este criterio, de forma que, a partir de un amplio margen dinámico, se obtenga un margen dinámico más reducido, y apropiado para este medio de transmisión. También se utiliza en radio FM en menor cuantía, si bien frecuentemente se oyen ejemplos

de mala aplicación en emisoras de música «pop». El resultado es un sonido opresivo y limitado, y en las pausas entre canciones o entre palabras se aprecia a veces cómo la ganancia «trepa», causando modulación de ruido. Cuando el presentador habla de nuevo, el ruido de fondo queda otra vez reducido. El efecto es como oír una cinta que ha sido codificada dentro de un proceso de reducción de ruido, pero sin haber sufrido el correspondiente tratamiento de descodificación.

Muchos equipos ofrecen secciones separadas de compresión y limitación, cada una de las cuales dispone de los controles de ataque, caída y umbral correspondientes a su función. Algunos también incluyen puertas (ver sección 9.5.2) en las que se puede variar tanto el umbral como la relación. Las puertas actúan de tal forma que cuando la señal baja de un cierto nivel, éste se recorta aún más. A veces se puede «retocar» la ganancia para compensar el efecto de reducción global del nivel que produce la compresión. El grado de reducción de nivel puede estar indicado mediante los correspondientes medidores.

14.3 Dispositivos de eco y reverberación

14.3.1 La cámara de eco

El eco, o más propiamente, la reverberación, se generaba antiguamente con ayuda de un recinto independiente. Dentro de este recinto, de paredes muy reflectantes, se colocaba un altavoz y dos micrófonos, estos últimos separados una cierta distancia entre sí y alejados también del altavoz (ver figura 14.4). La señal se enviaba al altavoz a un nivel bastante alto, lo cual excitaba las reflexiones dentro de la sala. Los 2 micrófonos proporcionaban las señales de retorno «estéreo» de eco. Esta técnica resultó ser un éxito evidente, y su calidad variaba según el tamaño del recinto, su forma y tratamiento acústico. Se podría utilizar un retardo inicial (ver Ficha Temática 14.2) para simular reflexiones de superficies más distantes.

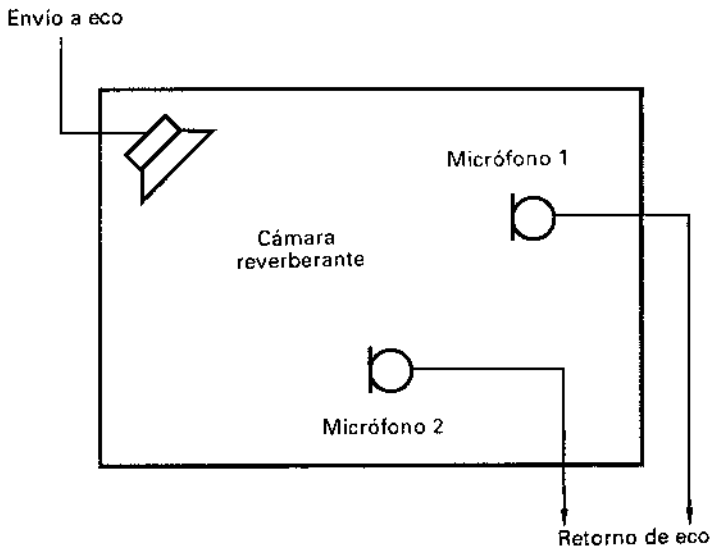


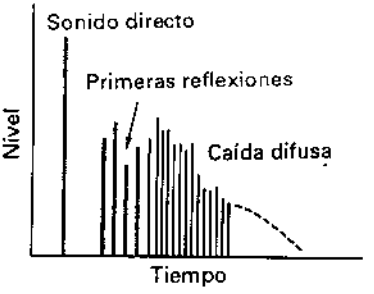
Figura 14.4 En una cámara de reverberación se envía la señal a un altavoz, que se utiliza para excitar el recinto. Las señales de retorno se toman de dos micrófonos colocados dentro del campo reverberante.

FICHA TEMÁTICA 14.2

Simulación de reflexiones

El retardo inicial «pre-delay» en un dispositivo de reverberación es una forma de retardar la primera reflexión para simular el efecto de una gran habitación con superficies distantes. Así pues, las primeras reflexiones se podrían programar de forma que simulen los rebotes que sufriría un sonido a medida que va alcanzando las distintas paredes del recinto. A continuación las reflexiones van perdiendo energía gradualmente, tal como se muestra en la figura.

El retardo inicial y las primeras reflexiones tienen un efecto importante sobre la percepción que uno tiene del tamaño de una habitación, y son estos pocos primeros milisegundos los que proporcionan al cerebro una de las pistas principales acerca del tamaño de un recinto. El tiempo de reverberación (TR) por sí solo no es una buena guía del tamaño de la habitación, ya que está afectado tanto por el volumen de la habitación como por la absorción de ésta (ver Fichas Temáticas 1.5 y 1.6). De hecho, se podría obtener el mismo TR para una habitación realmente grande que para una habitación más pequeña pero más reflectante. Las primeras reflexiones, no obstante, están condicionadas sólo por la distancia de las superficies.



14.3.2 Placa de eco

La placa de eco está formada por una plancha metálica grande y delgada con un área de varios metros cuadrados. Está encerrada en un alojamiento acústicamente aislado. Un transductor excitador se sitúa cerca de un borde y dos o más transductores receptores se colocan en distintas posiciones sobre la plancha (ver figura 14.5). La señal se aplica al transductor emisor que excita acústicamente la placa. Sus propiedades resonantes aseguran que las vibraciones se mantienen durante un buen período de tiempo. Los transductores receptores recogen la señal para proporcionar el correspondiente eco. Como se dispone de distintos receptores, se pueden obtener diferentes tipos de eco según sus posiciones. Así mismo, se puede usar también más de un transductor emisor para excitar diferentes modos de resonancia. Podríamos simular un recinto más grande se aplicamos una señal con un cierto retardo inicial (con ayuda de un magnetófono o un retardo de estado sólido). Mediante la placa de eco se pueden conseguir muchos efectos sumamente agradables. De hecho, muchos dispositivos digitales de reverberación disponen de programas que simulan deliberadamente el carácter timbrado del «eco de placa», permitiendo ajustar distintos parámetros; se ha comprobado que este efecto le va bien a ciertos instrumentos. Las características de la reverberación de placa pueden alterarse utilizando un ecualizador gráfico si es necesario. La placa debe estar bien aislada acústicamente porque es sensible tanto a las vibraciones provenientes del aire como a las de origen estructural. Si se monta en una zona ruidosa, el retorno de eco podría contener parte del sonido de los alrededores, que sería interpretado como versiones diferentes del propio eco. Generalmente se busca situar la placa en un suelo diferente al del propio estudio.

14.3.3 Reverberador de muelles

El reverberador de muelles, popularizado por la empresa de órganos American Hammond hace muchos años, consiste básicamente en una espiral de alambre elástico de varios milí-

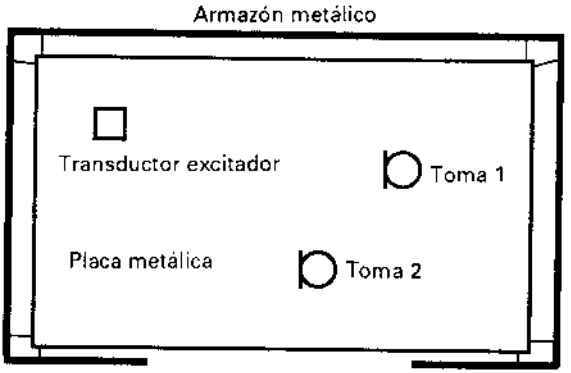


Figura 14.5 Una placa de reverberación es una hoja de metal suspendida dentro de un armazón, con transductores situados sobre ella en diferentes puntos. Normalmente se puede variar la desviación vibratoria de la placa para alterar el tiempo de caída de las vibraciones.

metros de diámetro y de un metro de largo, aproximadamente. Se le excita acústicamente en un extremo mediante un transductor, mientras otros transductores -tanto en el otro extremo como a veces a lo largo de su longitud- recogen las vibraciones. Algunos son considerablemente sofisticados al utilizar varios muelles y bastantes transductores. Su modesta calidad de funcionamiento no les quita, sin embargo, de tener aplicación en amplificadores de guitarra, donde se puede obtener una muy agradable calidad de reverberación. Los muelles son acústicamente sensibles, y pueden oírse a veces por los altavoces débiles «timbres» y roces internos que se producen al mover los amplificadores de guitarra.

14.3.4 Reverberador digital

Los reverberadores digitales de hoy en día, un ejemplo de los cuales se muestra en la figura 14.6, pueden llegar a ser dispositivos altamente sofisticados. A la hora de diseñar los algoritmos de procesado se tienen en cuenta distintos parámetros de lo que podría ser el recinto en el que se generan los diferentes efectos; estos parámetros son: absorción atmosférica y de las paredes del recinto, volumen físico, longitud de los distintos recorridos que tienen las ondas sonoras, dimensiones del local, etc. Los controles típicos, a los que se puede acceder desde el panel frontal, incluirán la selección de efectos internos preprogramados, que aparecerán con nombres como: sala grande «large hall», sala mediana «medium hall», catedral «cathedral», iglesia «church», etc. Además, se podrán variar por el usuario parámetros tales como nivel de retardo inicial «pre-delay», tiempo de caída «decay time», balance de frecuencias del retardo, relación «directo/procesado» («dry-to-wet», que expresa la cantidad de sonido directo no tratado que aparece a la salida), separación estéreo «stereo width», y la fase relativa entre las salidas estéreo. Una pequeña pantalla da información sobre los distintos parámetros.

La memoria disponible consta, generalmente, de una parte volátil y otra no volátil. La parte no volátil contiene los efectos prefijados de fábrica y aunque los parámetros se pueden variar a gusto del usuario, las modificaciones no se pueden guardar en esa memoria: las configuraciones se guardan en la parte volátil. Una forma bastante corriente de operar consiste en ajustar según nuestras preferencias una determinada configuración interna, y a continuación almacenarla en la sección volátil. Por ejemplo, una unidad puede contener 100 efectos prefijados. Los 50 primeros son fijos y no se pueden alterar de forma permanente. Los 50 últimos pueden almacenar configuraciones introducidas por el usuario, transfiriendo las configuraciones

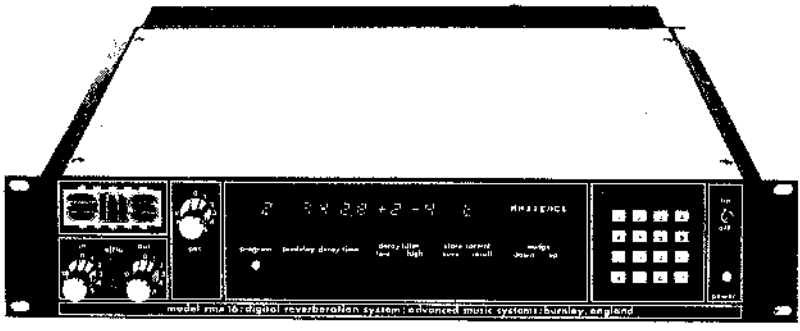


Figura 14.6 Un ejemplo de dispositivo de reverberación digital: el modelo RMX-16, de AMS. (Cortesía de AMS Industries PLC).

existentes a esta sección. La forma de hacer esto varía según los modelos, pero normalmente es un procedimiento simple de 2 ó 3 botones; por ejemplo: presionando 5, 7 y «almacenar». Esto quiere decir que en la memoria número 57 hemos almacenado una configuración de la memoria no volátil que ha sido ajustada a nuestro gusto. Después se pueden hacer ajustes adicionales si así se requiere.

Muchos de los equipos disponen de algún sistema de seguridad, de forma que los efectos almacenados se pueden proteger contra sobreescrituras accidentales. Una batería interna conserva los contenidos de la memoria cuando la unidad está apagada. En las memorias se pueden almacenar una gran variedad de configuraciones puntuales, aunque es sorprendente cómo a menudo un determinado modelo de reverberador puede imprimir su propio carácter al sonido, se altere como se altere. Por supuesto, esto puede ser tanto bueno como malo, y los operadores pueden llegar a tener una preferencia por un sistema en particular. Ciertos procesadores suenan un poco como reverberadores metálicos de muelle, cualesquiera que sean las configuraciones. Algunos suenan algo apagados debido a que tienen un ancho de banda limitado, con una respuesta en frecuencia extendida sólo hasta los 12 kHz, aproximadamente. Se deben analizar cuidadosamente estas características observando las especificaciones técnicas. A veces el ancho de banda se reduce con el aumento de los tiempos de reverberación o de caída del eco. Dicha deficiencia es a veces difícil de encontrar en un manual del aparato.

En todos los dispositivos de reverberación anteriores se debe notar que la entrada es, generalmente, mono y la salida es estéreo. De esta forma se puede añadir una «separación estéreo» a una señal mono, existiendo siempre un cierta falta de correlación entre las salidas. Algunos aparatos tienen entradas estéreo, que pemiten trabajar con fuentes no puntuales.

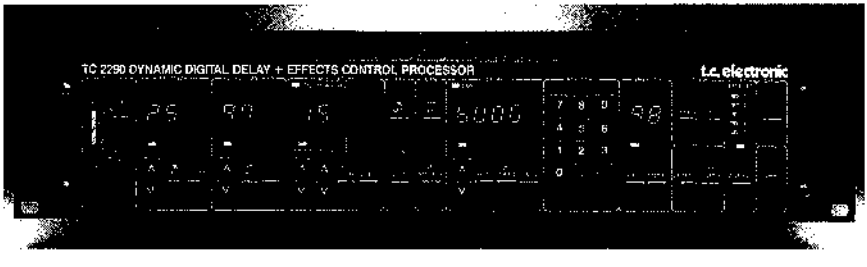


Figura 14.7 El procesador multiefectos tc 2290. (Cortesía de tc Electronics.)

14.4 Procesadores multiefectos

Los procesadores digitales multiefectos, como el mostrado en la figura 14.7, pueden ofrecer una gran variedad de posibilidades. Se dispone de ecualización paramétrica, que permite variaciones en el Q, en la frecuencia y en el grado de atenuación/realce. Una pequeña capacidad de memoria puede almacenar una muestra, siendo la unidad capaz de procesarla y reproducirla de acuerdo con la orden de un comando externo. La interconexión MIDI (ver Capítulo 15) se ha hecho popular en la selección de efectos bajo control remoto, puesto que tiene el interfaz de ordenador RS 232. En ocasiones se dispone también de una unidad de disco para almacenar información. Funciones como repetir eco, panorama automático, fase, modulación, cancelación de armónicos «flange», filtros paso alto y paso bajo, retardo de señal, cambio de tonalidad «pitch», efectos de puerta, y armonía añadida, pueden estar todos disponibles en las preselecciones, contando con variados botones multifunción para tener un control global. Muchas unidades sólo son capaces de ofrecer un único efecto a la vez. Algunas permiten ser actualizadas mediante «software», de forma que se puede adquirir una unidad básica e incorporar después modificaciones internas a medida que las vaya desarrollando el fabricante. Así, por ejemplo, se podrán ir añadiendo tiempos de retardo mayores, mayor capacidad de almacenamiento de muestras, o nuevos tipos de efectos. Esto ayuda a evitar que un aparato se quede obsoleto, debido al elevado ritmo cambiante a que están sometidos estos diseños.

14.5 Desplazador de frecuencias

El desplazador de frecuencias desplaza una señal entrante unos pocos Hz. Se utiliza en el control de la realimentación acústica en trabajos de megafonía y opera según se explica a continuación. La realimentación está causada al volver a entrar por un micrófono el sonido de un altavoz, formándose un lazo de realimentación positiva que se acumula en forma de un elevado ruido continuo, tipo aullido, a una determinada frecuencia. El desplazador de frecuencias se coloca dentro de la cadena de señal, de forma que las frecuencias reproducidas por los altavoces son desplazadas varios Hz respecto al sonido entrante a través del micrófono. Con esto se evita que existan efectos aditivos, puesto que se rompe el lazo de realimentación positiva. El pequeño desplazamiento en frecuencia tiene un efecto mínimo sobre el tono que se percibe del sonido primario.

14.6 Otros dispositivos

La empresa americana Aphex presentó en los años 70 una unidad llamada *«Excitador Aural»*. Durante algún tiempo los mecanismos por los que conseguía su efecto estuvieron envueltos en una cierta cantidad de misterio. La unidad provocaba un «destello» de la señal, realzando su presencia global y su vivacidad. Se aplicaba por lo general a sonidos individuales dentro de una mezcla, tales como los instrumentos de *solo* o las voces, pero a veces también a la señal estéreo completa. Este tipo de dispositivos tuvo un gran éxito, debido, fundamentalmente, a su efecto subjetivo. Algunas empresas fabricaron después unidades similares. Consiguen su efecto psicoacústico mediante técnicas como el filtrado en peine, realce selectivo de ciertas frecuencias, e introduciendo desplazamientos de fase entre los canales estéreo, en bandas relativamente estrechas.

El «eliminador de seseos» «de-esser» limpia las voces de dicha característica. Los sonidos silbantes pueden producir una calidad áspera. Para evitarlo, el «de-esser» filtra dinámicamente las componentes de alta frecuencia y alto nivel del sonido, lo que provoca una calidad vocal más natural.

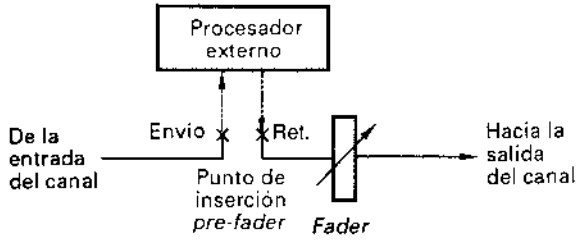


Figura 14.8 Algunos procesadores externos, como los compresores, se conectan normalmente a un punto de inserción del correspondiente canal del mezclador.

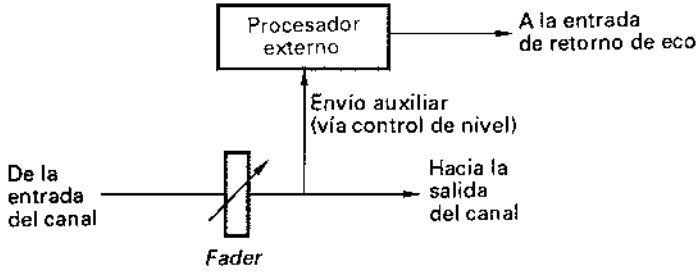


Figura 14.9 Los dispositivos de reverberación y eco se alimentan por lo general desde un envío auxiliar «post-fader» y se devuelven a un retorno de eco dedicado, o a una entrada de otro canal.

14.7 Conexión de dispositivos externos

Es necesario hacer una distinción entre los procesadores que requieren interrumpir una señal para su tratamiento y los que básicamente añaden algo a una señal existente. Los ecualizadores gráficos y paramétricos, los compresores, los «de-esser» y las puertas necesitan insertarse dentro de la cadena de la señal. Normalmente, uno no desea mezclar, pongamos por caso, una señal no comprimida con su versión comprimida, o una no pasada por una puerta con el sonido procesado por la puerta. Tales procesadores se conectarán a través del envío de inserción del correspondiente canal del mezclador y por los retornos, o bien se conectarán a la cabeza de la señal entrante o inmediatamente después de una salida. Los dispositivos tales como eco, reverberadores, coros o canceladores de armónicos, se utilizan generalmente para añadir algo a una señal existente y lo normal es utilizar el envío auxiliar de un canal para llevar hasta ellos la señal. Sus salidas se traerán de nuevo a otros canales de entrada, donde estas señales se mezclarán, según los gustos del operador, con la señal directa existente (ver figura 14.9).

A veces se querrá disponer solamente de la señal de efectos, en cuyo caso se tienen dos opciones: conmutar el envío auxiliar a «pre-fader» y cerrar el *fader* de ese canal, o bien, simplemente deshacer el encaminamiento de las señales del canal. Entonces el canal se usará meramente para enviar la señal a la unidad de efectos a través del auxiliar. En cualquier caso, los retornos contendrán normalmente un grado de señal sin procesar (directa), ajustándose en el procesador la relación entre señal directa y señal de efecto «dry-to-effect ratio».

MIDI

15.1 ¿Qué es el MIDI?

El MIDI, o Interfaz Digital para Instrumentos Musicales «Musical Instruments Digital Interface», es un estándar para la comunicación en serie de información de control entre instrumentos musicales electrónicos (ver las Fichas Temáticas 15.1 y 15.2). El éxito del MIDI en este campo ha dado como resultado su adopción por parte de otros equipos, como las unidades de efectos especiales, los sistemas automáticos de mezclas y los sincronizadores. Se utiliza principalmente para la transferencia de información relativa al control y aprovechamiento de un sistema de sonido. Permite también diversas funciones secundarias: transferir referencia de tiempos, envío de diversos datos relacionados con los parámetros vocales de los instrumentos, muestras de audio digital, configuraciones, etc.

El estándar define el interfaz electromecánico (ver Ficha Temática 15.3) y el protocolo de comunicación a usar. En otras palabras, define el tipo de conector que se ha de utilizar, el tipo de cable, los voltajes e intensidades requeridas, el interfaz de «hardware», y el «idioma» con el que tienen que hablar todos los instrumentos. Esto ha dado como resultado la unificación de sistemas de diferentes fabricantes, de tal manera que los distintos estándares de comuni-

FICHA TEMÁTICA **15.1** Interfaz en serie

Un interfaz en serie es aquel en el que los datos digitales se transfieren secuencialmente: esto es, 1 bit a continuación de otro. Este interfaz es diferente de uno paralelo, en el que cierto numero de bits pueden ser transferidos de manera simultanea, mediante un determinado número de líneas en paralelo. En la práctica, un enlace en serie entre dos aparatos requiere un único canal de comunicación, mientras que un enlace en paralelo necesita varios canales; por eso un enlace en serie es útil en los casos en que el ahorro en cableado es una cuestión primordial, o cuando existe un único canal (en una línea de teléfono, por ejemplo).

La adopción del estándar serie para el MIDI se basó en consideraciones tanto económicas como prácticas, ya que los fines a conseguir eran que el MIDI se pudiera instalar en equipos relativamente baratos, y que estuviera disponible para el mayor abanico de usuarios posible. Un sistema en paralelo podría haber sido más satisfactorio, profesionalmente hablando, y haber permitido una mayor velocidad en las comunicaciones, pero habría repercutido negativamente en el coste por unidad MIDI fabricada, sin contar también que el cableado en paralelo es mucho más caro y voluminoso que el serie. La simplicidad y facilidad de instalación de un sistema MIDI ha sido en gran medida responsable de su rápida expansión como estándar internacional.

FICHA TEMÁTICA 15.2

Transmisión asíncrona de datos

MIDI utiliza lo que se conoce como comunicación asíncrona en serie. En la comunicación asíncrona los datos son transmitidos sin que los acompañe una señal de reloj; el aparato emisor espera que el receptor acepte el dato que le llegue, independientemente de *cuándo* le llegue. Esto hace muy sencilla la tarea de conectar dos aparatos, ya que en teoría sólo hace falta un único cable para conducir los datos (aunque en la práctica se necesiten dos para completar el circuito).

En un interfaz asíncrono los relojes tanto del transmisor como del receptor deben de estar operando exactamente a la misma frecuencia. De otro modo los datos pueden perderse como consecuencia de un error de sincronismo. Este estricto requerimiento en la frecuencia de los relojes es fundamental para la correcta operación de un interfaz asíncrono. Así mismo, también es vital que el receptor pueda *confiar* en un determinado bit dentro de una palabra que se haya recibido en un momento concreto. La tolerancia en la frecuencia de reloj permitida para el MIDI es de ±1 %. No obstante, los datos pueden transmitirse en cualquier instante, estando permitidos grandes espacios o pausas entre mensajes. Según esto, es evidente que hace falta un sistema que sea capaz de averiguar el comienzo y el final de una palabra de datos. Esto se lleva a cabo con ayuda de los denominados bit de inicio y bit de parada. Un bit de inicio precede a todos y cada uno de los bytes transmitidos, y a su vez todos finalizan con un bit de parada.

Cuando el receptor observa la llegada del bit de inicio ajusta la fase de su reloj para que acepte los bits de la siguiente palabra en sus correspondientes intervalos de tiempo; a continuación el bit de parada finaliza la palabra. Un sistema conocido como UART («Universal Asynchronous Receiver/Transmitter», transmisor/receptor asíncrono universal) maneja de manera automática los tiempos del interfaz serie y convierte los datos serie en datos paralelo y viceversa.

El estándar MIDI especifica un interfaz serie unidireccional trabajando a 31'25 kilobaudios. La tasa en baudios expresa el numero máximo de bits que pueden ser transferidos al interfaz por segundo. Los datos se transmiten en un único sentido: desde el transmisor hacia el receptor. Los mensajes MIDI estándar generalmente consisten de 1, 2 ó 3 bytes, aunque existen mensajes mas largos para propósitos especiales (ver texto).

cación que existían previamente han desaparecido en favor del MIDI. Esto quiere decir que prácticamente cualquier instrumento musical electrónico puede ser incorporado en un sistema conjuntamente con otros sin ninguna dificultad.

Hoy en día se dispone de una gran variedad de programas para MIDI, aplicables a la mayoría de los ordenadores personales; esto les permite actuar como grabadores multipista, sistemas automáticos de mezcla, bibliotecas de voces para sintetizadores y editores de muestras «samples». Para corregir una mala interpretación que se ha hecho bastante común, diremos que los equipos de grabación MIDI no graban el *sonido*, simplemente graban información *sobre* sonidos. En otras palabras, un ordenador ejecutando un programa secuenciador MIDI graba mensajes de los aparatos MIDI. Estos mensajes contienen información sobre diversos eventos, como qué notas han sido presionadas, qué mandos se han movido y qué interruptores se han pulsado. Si se reproducen estos mensajes desde el ordenador hacia los aparatos MIDI, se ejecutarán de nuevo los eventos originales. Podríamos decir que los datos MIDI grabados son una versión moderna del tambor de una pianola, en cuanto que contienen información de control sobre una serie de sucesos musicales (y de otro tipo) que van a ocurrir.

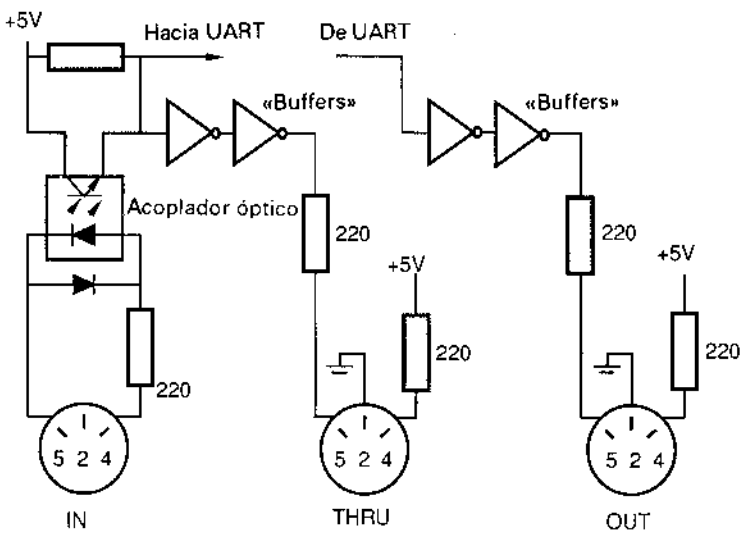
Utilizando un sincronizador de código de tiempo MIDI, puede hacerse que este sistema opere junto con otros equipos de grabación de sonido. De esta forma, se pueden sincronizar, por ejemplo, un equipo controlado por MIDI que reproduzca automáticamente eventos musicales, con una serie de canales grabados en un multipista.

FICHA TEMÁTICA **15.3** Construcción del interfaz MIDI

La mayoría de los equipos que utilizan MIDI tienen tres conectores: IN, OUT y THRU *(sic)*. El conector OUT (salida) ofrece los datos que el propio aparato ha generado. Estos datos provienen de la UART. El conector IN (entrada) recibe datos de otros aparatos y va a parar a la UART. Los mensajes en forma de datos los interpretará el instrumento correspondiente, siempre y cuando sepa manejarlos, además de verificar que estén destinados a ese instrumento en cuestión (ver texto).

El conector THRU «a través» es una copia literal de los datos presentes en IN. Son simplemente los datos de entrada, que pasan a través de un circuito separador («buffer»), y que no han sido procesados de ninguna manera. Algunos aparatos de los más baratos no poseen los conectores THRU, pero para ellos existen las denominadas «MIDI THRU boxes» (cajas de conexión THRU), que permiten disponer de varias salidas THRU a partir de una única entrada. Algunos aparatos que no disponen de conector THRU permiten, sin embargo, conmutar mediante un interruptor la función del conector OUT: para habilitarlo como OUT o como THRU. El conector THRU puede ser utilizado para interconectar entre sí aparatos MIDI, de tal forma que la información que proviene de un único controlador se distribuya a múltiples aparatos sin la necesidad de tener otras tantas salidas en la unidad controladora.

El acoplador (o aislador) óptico entre MIDI IN y la UART evita que haya un enlace de tipo eléctrico entre aparatos, y ayuda a reducir los efectos de cualquier problema que pudiera ocurrir si algún instrumento en el sistema sufriera un fallo eléctrico. Cuando se conecta con el correspondiente cable, se crea un lazo de corriente entre una MIDI OUT o una MIDI THRU y una entrada, MIDI IN. Los datos se representan mediante la presencia o ausencia de corriente por parte del dispositivo emisor –en este caso el cero binario se asocia a la presencia de corriente a través del lazo, mientras que el uno binario se asocia con una ausencia de la misma–.



15.2 Principios de un sistema simple

15.2.1 Interconexión básica

En el sistema MIDI más simple, un instrumento puede conectarse a otro a través de un cable MIDI estándar (ver Ficha Temática 15.4), como se muestra en la figura 15.1. Aquí, el instru-

FICHA TEMÁTICA **15.4** Cables y conectores

Los conectores usados para los interfaces MIDI son similares a las clavijas DIN de cinco patillas usados en algunos sistemas de alta fidelidad. La especificación permite también el uso de conectores profesionales de tipo XLR, aunque en la práctica no se encuentren muchos.
Únicamente tres de las 5 patillas del conector DIN son utilizadas (las patillas interiores). El cable debe ser de tipo coaxial apantallado, con la pantalla conectada a la patilla 2 en cada uno de los extremos, aunque dentro del propio receptor el conector IN no tiene la patilla 2 conectada a tierra. El motivo de esta conexión es evitar los lazos de tierra (ver Ficha Temática 13.2), permitiendo al mismo tiempo utilizar el cable en cualquiera de los sentidos. Se recomienda que no se utilicen más de 15 metros de cable en un sistema simple MIDI, aunque el deterioro de la señal es gradual y depende de las condiciones, del tipo de cable y del equipo en uso. Se pueden conseguir distancias mayores con el uso de cajas amplificadoras o separadoras «buffer».

En el cable, la patilla 5 de uno de lo extremos se conectará con la patilla 5 del otro; lo mismo ocurre con la patilla 4 y la 2. Si el cable DIN no sigue esta especificación, la conexión no funcionará. El cable de micrófono profesional terminado en conectores DIN puede utilizarse como una solución de más calidad que la anterior, puesto que los cables domésticos no son siempre coaxiales y apantallados. Por esta razón, están expuestos a recibir interferencias externas, a la vez que ellos mismos pueden radiar hacia el exterior e interferir en señales de audio adyacentes. Para evitar problemas de diafonía, se recomienda utilizar siempre cables apropiados, en especial en aquellas instalaciones profesionales donde se hayan conectado cables MIDI mezclados con cables de audio.

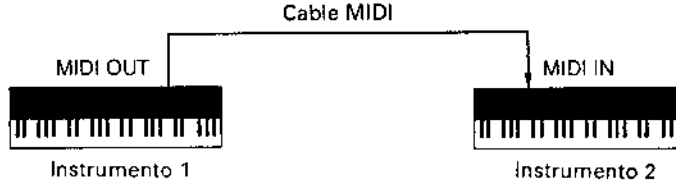


Figura 15.1 En la forma más simple de interconexión MIDI, la salida de un instrumento se conecta a la entrada del otro.

Figura 15.2 Los aparatos pueden ser encadenados en estructura de «margarita» usando el conector THRU, en cuyo caso todos los aparatos siguientes reciben los comandos provenientes del primero de la cadena.

mento 1 mandaría información relativa a las acciones que interpreta él mismo (notas pulsadas, pedales presionados, etc.) hacia el instrumento 2, el cual las imitará en la medida de lo posible. Este tipo de conexión puede utilizarse para «compartir» sonidos, de tal forma que un sonido compuesto puede construirse a partir de las salidas de dos sintetizadores. Se da por hecho que las salidas de audio de los dos instrumentos deben ser mezcladas para conseguir este efecto.

Los sistemas MIDI más potentes pueden ser construidos a partir de varias cadenas de instrumentos conectados mediante una red en forma de «margarita», los cuales recibirán la información generada por el primero de ellos (ver figura 15.2). El límite del número de instrumentos depende de si todos ellos van a recibir en diferentes canales (en cuyo caso el límite es 16), o si, por el contrario, todos ellos van a recibir en el modo «omni» (ver a continuación), en cuyo caso el límite depende de lo que tarden los datos en deteriorarse tras sucesivas conexiones de THRU a IN. Para evitar cadenas de margarita extremadamente largas, en sistemas grandes pueden utilizarse matrices de distribución.

15.2.2 Canales MIDI

Si nos fijamos en el sistema con conexión en forma de margarita de la figura 15.2, podemos apreciar que los instrumentos 2, 3 y 4 reciben la información que envía el instrumento 1. En este caso este instrumento puede considerarse como el dispositivo controlador, o teclado «maestro». El problema está en cómo definir qué instrumento o instrumentos de la cadena responderán a cada dato.

Los mensajes MIDI están formados por un determinado número de secciones o bytes. Cada byte del mensaje tiene un propósito especial y uno de ellos define concretamente el canal al que se refiere el mensaje. De esta manera un aparato controlador puede generar datos para un dispositivo específico. Esto es muy importante en los grandes sistemas en los cuales se utiliza un secuenciador como controlador principal, y donde en el bus de datos MIDI va a estar presente una gran cantidad de información destinada a distintos instrumentos. Si un aparato se configura mediante programa para recibir los datos de un canal específico, solo responderá a la información que le llegue de ese determinado canal, y generalmente desechará cualquier otra. En MIDI existen 16 canales.

Los instrumentos pueden ser configurados para transmitir y recibir en un canal específico, o para recibir en todos los canales (modo «omni»).

15.2.3 Formatos de mensaje

Existen dos tipos básicos de bytes para los mensajes en MIDI: el byte de estado, y el byte de datos. Los bytes de estado comienzan siempre con un 1 binario para distinguirlos de los bytes de datos, que siempre empiezan con un 0. Como se ve en la figura 15.3, la primera mitad del byte de estado denota el tipo de mensaje y la segunda mitad se refiere al número del canal. Podemos apreciar que en realidad solo tenemos 7 bits por byte para representar la información en sí, ya que el bit más significativo (MSB) de cada byte se reserva para indicar el tipo de mensaje (estado o datos). Mediante siete bits se pueden codificar 2^7 (=128) posibles mensajes.

El primer byte de un mensaje MIDI es normalmente un byte de estado, que contiene información acerca del número de canal al cual se refiere el mensaje. Como podemos ver, se reser-

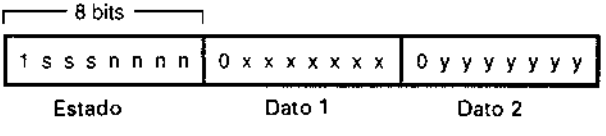


Figura 15.3 Un mensaje MIDI normal consta de 1, 2 ó 3 bytes, con el formato representado en la figura. El primer byte es siempre el de estado, comenzando con un 1 binario, mientras que los siguientes bytes son de datos, comenzando con un 0 binario. «sss» representa el estado; «nnnn» representa el número del canal, y «xxx...» e «yyy...» representan los datos del mensaje.

van 4 bits del byte de estado para indicar el número del canal, lo que nos permite un total de 2^4 (=16) posibles canales. El byte de estado es una etiqueta que denota hacia qué receptor va el mensaje, definiendo también el tipo de mensaje que viene a continuación (por ejemplo: un mensaje de NOTE ON). Podemos ver también que hay 3 bits para indicar el tipo de mensaje, porque el primero de ellos siempre debe estar a 1. Teóricamente esto nos permite ocho tipos diferentes de mensaje, pero existen algunos casos especiales (ver a continuación).

Los mensajes MIDI estándar pueden tener hasta 3 bytes de longitud, pero no todos los mensajes necesitan 3 bytes. Hay algunas excepciones para esta regla, como veremos a continuación. Las tablas siguientes (tablas 15.1 y 15.2) nos muestran los mensajes MIDI estándar, describiéndonos los títulos más comunes de los mensajes, seguidos por los valores que los representan en hexadecimal (la notación hexadecimal representa los valores decimales del 0 al 15 mediante los caracteres 0-9 y A-F. Cada byte de cada mensaje MIDI puede ser representado por dos valores hexadecimales, ya que cada valor hexadecimal representa 4 bits). El número del canal está representado por la letra «n», siendo cualquier valor hexadecimal desde &0 hasta &F. Puesto que el espacio de este capítulo está bastante limitado, los mensajes mostrados en las tablas no los comentaremos al detalle. Para una explicación pormenorizada de los mensajes MIDI remitimos al lector a la lista de lecturas recomendadas al final del capítulo.

Tabla 15.1 Mensajes de datos MIDI (para un canal específico)

Mensaje	*Estado*	*Dato 1*	*Dato 2*
Note off	&8n	nº de nota	Velocidad
Note on	&9n	nº de nota	Velocidad
Polyphonic aftertouch	& An	nº de nota	Presión
Control change	& Bn	nº de controlador	Datos
EJEMPLO:			
Controladores de			
14 bits. MSByte	& Bn	01 (rueda de modulación)	Datos
		02 (controlador de soplo)	Datos
		04 (controlador de pedal)	Datos
		05 (tiempo de portamento)	Datos
		06 (potenciómetro de datos de entrada)	Datos
		07 (volumen principal)	Datos
Controladores de			
14 bits LSByte	& Bn	21 (rueda de modulac.) etc.	Datos
Conmutadores/controladores			
de 7 bits	& Bn	40 (pedal de nivel de de sostenimiento)	}00-3F (off)
		41 (portamento)	}40-7F (on)
		42 (pedal sostenuto)	}00-3F (off)
		43 (pedal «soft»)	}40-7F (on)
		60 (incremento de datos)	7F
		61 (disminución de datos)	7F
		62 (contr. param. no reg.)	LSByte
		63 (contr. param. no reg.)	MSByte
		64 (contr. param. reg.)	LSByte
		65 (contr. param. reg.)	MSByte
		79 (puesta a cero de controladores)	7F
Modos de canal	& Bn.	7A (local)	00 off/7F on
		7B (todas las notas off)	00

Tabla 15.1 Mensajes de datos MIDI (para un canal específico) (cont.)

Mensaje	*Estado*	*Dato 1*	*Dato 2*
		7C (omni off)	00
		7D (omni on)	00
		7E (mono) (nº de canales)	00-0A
		7F poly	00
Program change	& Cn	Número de programa	–
Channel aftertouch	& Dn	Presión	–
Pitch wheel	& En	LSByte	MSByte

Tabla 15.2 Mensajes MIDI de sistema

Mensaje	*Estado*	*Dato 1*	*Dato 2*
Sistema exclusivo:			
System exclusive	& F0	ID de fabricante	Datos +++ ...
End of SYS. excl.	& F7	–	
Sistema en común:			
Song pointer	& F2	LSByte	MSByte
Song select	& F3	Nº de canción	–
Tune request	& F6	–	
Código de tiempo MIDI:			
Quarter frame	& F1	Datos	–
Sistema en tiempo real:			
Timing clock	& F8		
(Measure end)	(& F9)	Sin uso en MIDI 1.0	
Start	& FA		
Continue	& FB		
Stop	& FC		
Active sensing	& FE		
Reset	& FF		

15.2.4 Comparación entre mensajes de canal y mensajes de sistema

Existen dos tipos principales de mensaje: aquellos que se refieren a un canal especifico y los que atienden a todo el sistema como un conjunto. Deberíamos tener presente que un instrumento puede estar recibiendo en modo omni, en cuyo caso ignoraría la etiqueta de canal e intentaría responder a cualquier cosa que recibiera.

Los mensajes de canal *Channel Messages* comienzan con bytes de estado en el rango de &8n hasta &En (comienzan con el 8 hexadecimal porque el MSB debe ser 1 para un byte de estado). Todos los mensajes de sistema comienzan con &F, y no contienen ningún número de canal. En su lugar, la cuaterna menos significativa (4 bits) del byte de estado de sistema (que normalmente indicaría el número de canal) se utiliza para la identificación del mensaje de sistema, ya que tenemos capacidad para 16 posibles mensajes de sistema: desde &F0 hasta &FF.

Los mensajes de sistema *System Messages* se subdividen a su vez en tres grupos: Sistema en Común, Sistema Exclusivo y Sistema en Tiempo Real (respectivamente: *System Common, System Exclusive, System Realtime*. Los mensajes en común se aplican a todos y cada uno de los aparatos en el bus, dependiendo solo de la capacidad de cada uno para manejar el mensaje. Los mensajes exclusivos se aplican a cualquier aparato del mismo fabricante que sea especificado en el mensaje (ver a continuación). Finalmente, los mensajes en tiempo real se refie-

ren a los aparatos que manejan el ritmo de una forma o de otra. El byte de estado &F1 se reserva para el uso del código de tiempo de MIDI (ver a continuación).

15.2.5 Estado operativo

Cuando se transmite una gran cantidad de información a través de MIDI aparecen retardos que se atribuyen a la propia naturaleza de la transmisión en serie. En este tipo de transmisión de datos, las notas concurrentes de un acorde, por ejemplo, deben ser enviadas una a continuación de otra. Sería entonces interesante reducir lo máximo posible la cantidad de datos transmitidos, con el fin de minimizar los retardos y evitar sobrecargar con datos innecesarios los aparatos conectados al bus.

El Estado Operativo es un método completamente aceptado para reducir la cantidad de datos transmitida, y que cualquier programa MIDI debería ser capaz de entender. Esto se lleva a cabo de la siguiente manera: una vez que se ha introducido un byte de estado por un controlador no es necesario volver a repetir el estado para cada uno de los mensajes siguientes, siempre y cuando el estado no cambie en ningún momento. De esta forma una cadena de mensajes del tipo «Note On» (cada uno de los cuales sirve para interpretar una nota) podría ser enviada con un único estado de «Note On» al comienzo de la serie, o sea:

[NOTE ON-DATOS-VELOCIDAD] [DATOS-VELOCIDAD] [DATOS-VELOCIDAD] ...

Podemos apreciar que para una larga cadena de información referida a «nota» la cantidad de datos enviada puede llegar a reducirse hasta en una tercera parte. Pero, puesto que cada «Note On» casi siempre va seguido de un «Note Off», para el mismo número de nota, este método no nos serviría, porque el estado cambiaría de ON a OFF de manera regular, eliminando en gran parte la ventaja de la que disponíamos mediante el Estado Operativo. Esta es la razón por la que se adoptó que la serie «Note On», Velocidad Cero, se interprete como equivalente a un mensaje «Note Off», puesto que esto evita un cambio de estado durante el Estado Operativo; de esta forma puede darse el caso de la existencia de cadenas que parecen ser mensajes «Note On», pero que en realidad son tanto «Note On» como «Note Off».

El Estado Operativo no se usa siempre que haya cadenas de mensajes del mismo estado; por lo general solo lo utiliza el «software» de un determinado instrumento cuando el flujo de datos sobrepasa un cierto límite. De hecho, si examinamos los datos que provienen de un sintetizador normal que esté interpretando durante un buen rato, veremos el Estado Operativo apenas se utiliza durante todo ese tiempo.

15.2.6 Modos de canal

Aunque agrupados junto con los controladores, bajo el mismo estado, los mensajes de modo de canal difieren de aquellos en que estipulan el modo de operación del instrumento que se recibe en ese canal particular.

Local On/Off se utiliza para permitir o no el enlace entre el teclado de un instrumento y sus propios generadores de sonido. De hecho, hay un interruptor entre la salida del teclado y la entrada de control de los generadores que, cuando se cierra, permite que el instrumento reproduzca sus propios generadores de sonidos durante una operación normal (ver figura 15.4).

Si se abre el interruptor el enlace se rompe y la salida del teclado se envía a la salida MIDI OUT, al mismo tiempo que los generadores de sonido quedan bajo el control de MIDI IN. En este modo de operación el instrumento actúa como dos aparatos independientes: un teclado principal sin ningún sonido y un generador de sonido sin teclado. Esta configuración puede ser muy útil cuando el instrumento en uso es el teclado principal dentro de un sistema secuen-

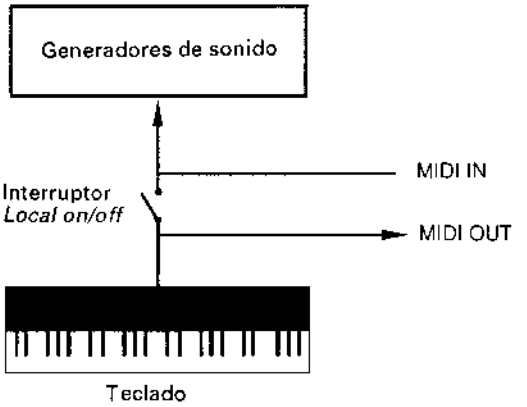


Figura 15.4 El comando «Local Off» desconecta el teclado del instrumento de sus generadores de sonido.

ciador, donde no siempre queremos que todo lo que sea ejecutado en el teclado principal suene como si fuera el propio instrumento.

All Notes Off hace que todas la notas que pertenecen a un mismo canal dejen de sonar. Es muy útil par asegurarse de que un instrumento se silencie completamente cuando exista algún problema en un sistema MIDI.

Omni Off nos asegura que el instrumento sólo reaccionará a los datos etiquetados con su propio número(s) de canal, tal y como se configuró por los controles del instrumento.

Omni On configura el instrumento para recibir en todos los canales del MIDI. En otras palabras, el instrumento va a ignorar el numero de canal del byte de estado e intentar interpretar cualquier dato que le llegue, independientemente del canal. Este es el modo en el que deberían encenderse los aparatos.

Mono mode (monofónico) indica al instrumento que sólo reproduzca una nota cada vez, en oposición a poli (fónico), que implicaría varias notas sonando simultáneamente. Este modo está indicado para los instrumentos llamados multitímbricos, que son capaces de generar más de una voz al mismo tiempo; en otras palabras, no solo pueden producir, por ejemplo, 16 notas simultaneas, sino que cada nota podría tener además diferentes cualidades de sonido (cada una actuaría como un instrumento monofónico diferente). El byte de datos que acompaña a *mono mode* especifica cuántas voces se tienen que asignar a los canales MIDI adyacentes.

Por ejemplo, si el byte de datos se pone a cuatro, entonces se asignarán cuatro voces a los canales MIDI adyacentes, empezando desde el canal básico, que es aquel en el que el instrumento está configurado para recibir en operación normal. Excepcionalmente, si el byte de datos se pone a cero las 16 voces (si es que existen) serán asignadas cada una a uno de los 16 canales MIDI. De esta forma un único instrumento multitímbrico puede actuar como 16 instrumentos monofónicos diferentes, aunque en los sistemas más baratos todas esas voces se combinen en una única salida de audio.

En el modo *Poly* el instrumento sonará con tantas notas simultaneas como le sea posible dentro de un canal MIDI. Los instrumentos actúan de diferente manera cuando se sobrepasa el número de notas simultaneas que pueden manejar: algunos eliminarán la primera nota reproducida en favor de la nueva nota, mientras que otros se negarán a reproducir la nueva nota. Hay algunos más inteligentes que comprobarán si esa misma nota ya está reproduciéndose, y sólo aceptarán una nueva nota si no está sonando. Algunos, incluso, eliminarán la nota que esté sonando mas baja (la de menor valor de velocidad) para hacer sitio a la siguiente.

Cada vez es más común ejecutar un aparato en el modo *Poly* en más de un canal receptor, suponiendo que el programa sea capaz de manejar la recepción de múltiples canales polifónicos. Un expansor multitímbrico puede encargarse de esta tarea, comúnmente conocida como modo «multi».

15.2.7 Sistema Exclusivo

Un mensaje de Sistema Exclusivo es aquel que se refiere a un fabricante en particular, y generalmente a un instrumento particular. En estos mensajes lo único que se ha definido es cómo empezarlos y cómo acabarlos; la única excepción a esta norma es el uso de mensajes de Sistema Exclusivo que contienen información «universal», como los códigos de tiempo MIDI y los volcados de muestras. Los mensajes de Sistema Exclusivo generados por un aparato repercutirán normalmente en el terminal MIDI OUT, no en el THRU, de forma que debe hacerse una conexión a propósito entre el dispositivo transmisor y el receptor. A veces es necesario hacer un enlace de retorno desde el OUT del receptor al IN del transmisor para que se establezca una comunicación de doble sentido, y para que el receptor pueda controlar el flujo de datos diciéndole al transmisor cuándo está preparado para recibir y cuándo ha recibido el mensaje correctamente.

El mensaje comienza con el estado &F0, seguido de la correspondiente identificación (ID) del fabricante. Esta identificación es un número que define cuál de los mensajes del fabricante viene a continuación. Después de ID pueden llegar cualquier tipo de datos; no tienen por qué seguir el formato de los datos de MIDI, o sea: STATUS-DATA-STATUS. Esto permite usarlos para distintos propósitos que pueden no estar definidos en el estándar MIDI; así mismo, el mensaje puede tener virtualmente cualquier longitud que requiera el fabricante. Hay excepciones, como los bytes de datos que se parecen a los bytes de estado MIDI, y que serán interpretados naturalmente como tales por cualquier receptor; esto podría dar por finalizada la recepción del mensaje de Sistema Exclusivo. El mensaje debería terminar con &F7, aunque esta regla no siempre se tiene en cuenta, en cuyo caso el receptor puede desconectarse después de un cierto período de tiempo, o terminar el mensaje de Sistema Exclusivo al recibir el siguiente byte de estado. Es recomendable que los grandes volcados de datos en Sistemas Exclusivos empleen algún tipo de corrección de errores, como por ejemplo confirmar que los datos se han recibido correctamente, y pedir que las secciones del mensaje que no sean correctas se repitan; todo esto a través del retorno hacia el transmisor.

Ejemplos de aplicaciones para estos mensajes pueden ser los volcados de datos de muestras (desde un «sampler» hacia un ordenador y viceversa, con fines de edición), y los volcados de datos de voz (desde un sintetizador hacia un ordenador, para el almacenamiento de voces programadas por el usuario). A veces es posible que instrumentos de la misma clase y del mismo fabricante acepten mutuamente intercambiar sus propios datos de voz, como si fuera una «caja negra», sin muchos controles (generalmente conocido por «expander») y que pudiera ser programada a través de un control remoto.

En una reciente modificación del estándar MIDI, las tres identificaciones de fabricante con número más alto se han configurado para definir modos especiales. Estos son: los mensajes Universales No Comerciales (ID:&7D), los mensajes Universales que no estén en Tiempo Real (ID:&7E) (entre otras cosas, estos manejan volcados de muestras hacia un formato determinado) y los mensajes Universales en Tiempo Real (ID:&7F), que manejan ciertos aspectos del Código de Tiempo del MIDI.

15.2.8 Sensores activos

Los mensajes «Active Sensing» son bytes aislados de estado que son enviados periódicamente tres veces por segundo por un aparato controlador cuando no existe ninguna otra actividad en

el bus. Actúa como un método para confirmar a los receptores que el controlador no ha desaparecido y que sigue conectado a la red.

No todos los aparatos transmiten información «Active Sensing», y el programa del receptor debería ser capaz de detectar si está presente o no. Si un receptor está esperando bits de «Active Sensing», actuará poniendo en *off* todas las notas si esos bytes desaparecen por alguna razón. Esta puede ser una función muy útil en el caso de que el cable MIDI se haya desconectado durante la transmisión, en cuyo caso las notas no sonarán durante mucho más tiempo. Si un receptor no tiene conocimiento de estos bytes «Active Sensing» desde que lo conectaron, debería asumir que no se están utilizando.

15.2.9 Prioridades

En todo sistema que maneje mensajes debe existir un criterio estándar de prioridades, que asegure que los datos más urgentes se manejen antes que los demás. El orden es:

Reset
System Exclusive
System Realtime
System Common y *Channel Messages*

15.3 Sincronización

Una de las funciones más importantes del MIDI es la transferencia de los datos referentes al tiempo, desde un punto a otro dentro del sistema. Esta función sustituye a la de aquellos antiguos estándares de sincronización para máquinas de ritmos y secuenciadores, que utilizaban conexiones de sincronismo independientes para llevar señales de reloj con distintas frecuencias. Estas frecuencias solían medirse en pulsos por cuarto de nota (PPQN).

Quizás conviene decir aquí que no todos los aparatos en un sistema MIDI están interesados en información sobre el tiempo: depende siempre de la función que le haya sido encomendada a cada uno. Aquellos cuyas funciones son controlar la reproducción y grabación MIDI en el sistema necesitarán alguna referencia para determinar el flujo con el que los datos deben ser reproducidos, a fin de asegurar que la música suene a la velocidad establecida. Estos grabadores de datos se denominan normalmente secuenciadores. Las cajas de percusión también necesitan esta información, precisamente porque contienen por lo general un secuenciador, que almacena distintos modelos de ritmo con los que va a trabajar el reproductor. Por otro lado, tanto a un sintetizador normal como a una unidad de efectos o a un «sampler» no les concierne para nada la información acerca de los tiempos, porque no poseen funciones que puedan estar afectadas por un reloj. Estos aparatos no almacenan patrones de ritmo, aunque existen algunos teclados que incorporan sus propios secuenciadores, y que deberían manejar datos sobre el tiempo.

Como el MIDI está cada vez más involucrado en los estudios profesionales de grabación, han aparecido distintos métodos que permiten enganchar una información sobre tiempo MIDI con un código de tiempo grabado previamente en un multipista o en una cinta de video. Utilizando estos métodos, se pueden integrar perfectamente un sistema MIDI y un sistema de grabación o de posproducción. Recientemente la necesidad de estos códigos de tiempo se ha orientado hacia el tiempo real en oposición al tiempo musical, lo que ha dado como resultado el desarrollo de una extensión del MIDI llamada Código de Tiempo MIDI, o MTC.

15.3.1 Sistema en tiempo real

Un grupo de mensajes denominados mensajes del sistema en tiempo real *System Realtime* controlan la ejecución de las diversas secuencias de tiempo en un sistema MIDI, y se suelen usar junto con el puntero de canción *Song Pointer* (el cual es en realidad un mensaje *System Common*) para controlar el movimiento a lo largo de un pasaje grabado. Los mensajes del sistema en tiempo real son:

&F8	Reloj de Tiempos.	
&FA	START	(comienzo)
&FB	CONTINUE	(continuar)
&FC	STOP	(parada)

El estándar MIDI permite la transmisión de un byte de reloj MIDI, el cual es un único byte de estado (&F8) para ser tratado por el controlador 6 veces por cada tiempo de compás MIDI. Un tiempo de compás MIDI equivale a una semicorchea musical, de forma que el incremento de tiempo representado por un byte de reloj MIDI se refiere a la duración de un valor particular dentro de la música, no a una unidad de tiempo real. Sea cual sea el *tempo* en que nos encontremos, podemos decir que un tiempo de compás MIDI representa una cantidad de tiempo fija, pero esto cambiaría necesariamente si cambiase el *tempo*. El byte de estado &F8 es algo fuera de lo común en el estándar MIDI, puesto que puede interrumpir momentáneamente el estado actual, volviendo automáticamente al estado anterior una vez que el byte &F8 ha sido manipulado por un receptor.

START es usado por el controlador para indicar a cualquiera de los aparatos sincronizados que va a comenzar a ejecutarse una canción pregrabada. Debería ir seguido de la reproducción de una determinada secuencia desde su principio. *STOP* se emplea para detener la ejecución de una canción, llevada a cabo por un determinado instrumento. *CONTINUE* se utiliza para reestablecer la reproducción a partir del punto en el cual se ha parado por última vez, que no tiene necesariamente que coincidir con el principio. Por ejemplo, un secuenciador puede estar controlando cierto numero de teclados, pero también puede ser conectado a una caja de percusión que esté ejecutando su propia secuencia almacenada internamente. Ambos necesitan estar sincronizados entre sí, así que el secuenciador puede enviar a la caja de percusión un mensaje START al principio de la canción, seguido de varios bytes &F8, intercalados en intervalos concretos; de esta forma ambos aparatos se mantienen constantemente sincronizados. Si el secuenciador se para, mandaría una señal STOP a la caja de percusión; a partir de aquí la orden CONTINUE arrancaría desde ese instante y la orden START empezaría desde el principio.

15.3.2 Punteros de posición en la canción (SPP)

Los SPP *Song position pointers* se utilizan en la mayoría de los sistemas complejos en los que un aparato necesita decirle a otro en qué parte de la canción está situado. Un buen secuenciador o sincronizador debería se capaz de transmitir punteros de canción a otros aparatos cuando se necesiten o se detecten nuevas localizaciones. Por ejemplo, podríamos hacer un bobinado rápido sobre una canción y empezar de nuevo 20 compases más tarde, en cuyo caso, el resto de los aparatos sincronizados tendrían que saber dónde empezar ellos también. Un SPP debería ir seguido de un START y, a continuación, impulsos normales de reloj «clocks».

Un SPP representa la posición de una canción en forma de compases MIDI desde el comienzo de la misma. Por tanto, de nuevo hace referencia directamente al tiempo musical en lugar de al tiempo real: no representa necesariamente el número de segundos dentro de la

canción. Se utilizan para el puntero dos bytes de datos, y como el MSB de cada byte debe ser cero, se dispone finalmente de 14 bits que pueden representar 16384 compases MIDI. SPP es un mensaje de Sistema en Común (no un mensaje en tiempo real). Se utiliza conjuntamente con &F3 (Selección de canción), que especifica a qué número de canción nos referimos de todas las que tenemos grabadas (por ejemplo, en una maquina de ritmos).

Los SPP son muy adecuados para direccionar los movimientos de un sistema musical completo, donde cada acción se refiere a un tiempo de compás particular o a una subdivisión particular de tiempo de compás, pero no son tan útiles cuando las acciones deben ocurrir en un determinado punto, indicado en tiempo real. Si, por ejemplo , estuviésemos usando un sistema MIDI para doblar la música y los efectos de una película en la cual un determinado efecto tuviera que sincronizarse con una determinada imagen, el efecto tendría que mantener su posición, independientemente de lo que le ocurra a la música. Si el efecto fue creado para que surgiese a partir de cierto momento desde el comienzo de la canción, este punto podría cambiar en tiempo real si alterásemos la música ligeramente por cualquier causa; por ejemplo, para adecuarla a cierta parte de la película. En resumen, es necesario disponer de algún método de sincronización en tiempo real, ya sea en lugar de o junto con las funciones del reloj y del puntero de canción. De esta forma cualquier suceso dentro de un sistema controlado por MIDI puede representarse de manera precisa en horas, minutos y segundos.

15.3.3 Sincronización en tiempo real y código de tiempo MIDI

Existen distintas formas de mantener la sincronización en un sistema MIDI, para solucionar los problemas que acabamos de exponer. Un método se centra en la generación por parte de un sincronizador del código de tiempo MIDI (MTC), el cual es una extensión del estándar original MIDI. Otro método se basa en la incorporación de un lector de códigos de tiempo pero sin un secuenciador que lo controle. Estos dos procedimientos no tienen por qué excluirse mutuamente, ya que el secuenciador, en último caso, puede mandar MTC a los aparatos controlados, si lo considera necesario.

El código de tiempo MIDI desarrolla dos funciones especificas. Primero, muestra una manera de distribuir el código de tiempo SMPTE/EBU convencional (ver Capítulo 16) dentro de una red MIDI en un formato de datos que sea compatible con el protocolo MIDI. En segundo lugar, provee de un protocolo para transmitir los denominados mensajes «Set-Up», que pueden ser enviados desde un ordenador que asuma las funciones de controlador hacia los receptores; con esto se consigue programarlos mediante determinados índices que señalan los puntos en los que los sucesos tendrán lugar. Se trata de que los receptores puedan leer el MTC que va llegando a medida que se va ejecutando el programa (lo más probable es que este MTC provenga de la conversión de un código SMPTE/EBU leído de una pista grabada), y ejecutando en sus correspondientes tiempos los eventos programados con antelación.

Para poder transmitir información sobre un determinado código de tiempo en MIDI, este debe convertirse en un formato que sea compatible con otros datos MIDI (o sea, un byte de STATUS seguido por los correspondientes bytes de datos). Básicamente, hay dos tipos de mensajes de sincronización MTC: uno de ellos va actualizando de forma regular al receptor mediante el código de tiempo. El otro transmite actualizaciones individuales del código de tiempo, en situaciones parecidas a las de los bobinados rápidos en un magnetófono, donde cambiar un simple cuadro «frame» implicaría transmitir una gran cantidad de datos. Al primero se le conoce como *mensaje de cuarto de cuadro*, y emplea un byte de estado de uso poco común (&F1). Al segundo se le conoce como *mensaje de cuadro completo*, y opera bajo la pancarta de Sistema Exclusivo, como parte de un conjunto de mensajes conocido como mensajes Universales en Tiempo Real.

El formato de cuarto de cuadro transmite el valor de un cuadro SMPTE/EBU en ocho mensajes discretos MIDI. Cada mensaje del grupo de ocho representa, a su vez, lo siguiente: la cuaterna más significativa («Most Significant Nybble», MSN) de cuadro; la cuaterna menos significativa («Least Significant Nybble», LSN) de cuadro; MSN/LSN de los segundos; MSN/LSN de los minutos y MSN/LSN de las horas. Un mensaje de cuarto de cuadro viene dado de esta forma:

[&F1] [DATOS]

El byte de datos comienza con «0» (como siempre), y los siguientes 7 bits de la palabra de datos están distribuidos de la siguiente manera: un código de 3 bits que indica si el mensaje representa horas:minutos:segundos:cuadros, MSN o LSN; a continuación los siguientes 4 bits representan el valor binario de esa cuaterna (ver figura 15.5). Los 3 bits de datos que definen la naturaleza del mensaje comienzan con 000 para la cuaterna menos significativa del cuadro, aumentan de manera secuencial hasta llegar a 111, que representa la cuaterna más significativa de las horas. Para obtener de nuevo el valor correcto del código de tiempo a partir de los ocho mensajes de cuarto de cuadro, las cuaternas LS y MS de las horas, minutos, segundos y cuadros se combinan entre sí dentro del receptor para formar palabras de 8 bits, de la siguiente manera:

Cuadros: rrr qqqqq

donde rrr se reserva para usos futuros y qqqqq representa los valores de los cuadros desde 0 hasta 29;

Segundos: rr qqqqqq

donde rr se reserva para usos futuros y qqqqqq representa los valores de los segundos desde 0 hasta 59;

Minutos: rr qqqqqq

como los segundos;

Horas: r qq ppppp

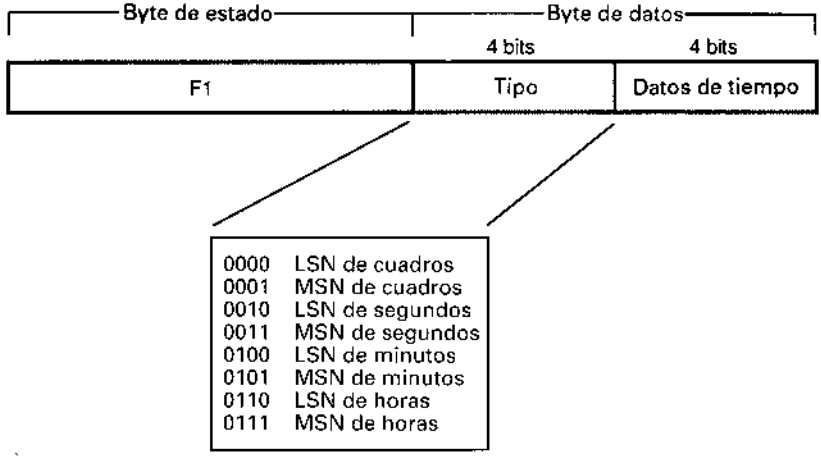


Figura 15.5 Un mensaje MTC de cuarto de cuadro utiliza un byte de estado &F1, seguido de uno de datos, cuya primera mitad representa la parte del valor de un cuadro de código de tiempo que se transmitirá como «datos de tiempo» (LSN=cuaterna menos significativa; MSN=cuaterna más significativa).

donde r está sin definir, qq representa el tipo de código de tiempo (ver a continuación), y ppppp son los valores de las horas desde 0 hasta 23;

La frecuencia de cuadro en el código de tiempo se especifica en el contador de horas de la siguiente manera:

00 = 24 fps (cuadros «frames» por segundo)
01 = 25 fps
10 = 30 fps *drop-frame*
11 = 30 fps *non-drop-frame* (ver sección 16.1)

Los bits que no están asignados deben ser puestos a cero.

Para el caso de 30 fps los mensajes de cuarto de cuadro se mandan en MIDI a la velocidad de 120 mensajes/segundo. Como se necesitan 8 mensajes para representar completamente un cuadro, vemos que en realidad es necesario transmitir 30 x 8 = 240 mensajes por segundo, si queremos que el receptor esté actualizado en cada cuadro. Esto podría ser considerado como una tasa de datos demasiado alta, de ahí que se haya optado por actualizar al receptor cada dos cuadros. Si el MTC se transmite de manera continua a través del bus ocupará aproximadamente un 7'5% del ancho de banda.

Los mensajes de cuarto de cuadro pueden ser transmitidos tanto hacia delante como hacia atrás, emulando así al código de tiempo; la cuaterna LS de los cuadros se transmite en el límite del cuadro de código de tiempo al que representa. Podemos comprobar que el receptor debe mantener de hecho un «desfase» de dos cuadros entre el código de tiempo que aparece en pantalla y el código de tiempo que se recibe. Esto se debe a que el valor de un cuadro necesita a su vez dos cuadros para ser transmitido completamente.

Existen otros tipos de mensajes MTC para la transmisión tanto de cuadros completos como de bits de usuario o de mensajes de configuración; desgraciadamente, el poco espacio de que disponemos no nos permite tratarlos aquí.

15.4 Configuraciones del sistema

Haremos a continuación un somero repaso a los distintos sistemas de control de MIDI. Para una información más detallada sobre la aplicación del MIDI en cada aparato referimos al lector al libro *MIDI Systems and Control*, cuya referencia aparece en las lecturas recomendadas, al final de este capítulo.

15.4.1 Teclado principal y expansores

Todos los sistemas MIDI deben controlarse por una fuente de datos MIDI, que se aplicará a las entradas de algunos o de todos los aparatos que componen el sistema. A esta fuente de datos la denominaremos controlador, independientemente de lo que ocurra en términos físicos. Por lo general, en un ambiente de grabación o composición, el controlador será un simple ordenador, que ejecutará uno o varios de los programas comerciales MIDI. En el mundo del espectáculo se utiliza a menudo un teclado como controlador, pero muchos autores también prefieren hacer uso de las pistas pre-secuenciadas.

Incluso si el controlador de todo el sistema es un ordenador, casi siempre se necesitará un teclado principal, ya que el ordenador debe recoger sus datos desde una fuente MIDI. Es posible que el teclado principal pueda ser simplemente uno de los teclados «musicales» que forman parte del sistema; en tal caso, también recibirá datos del ordenador, además de enviarle información musical y de control. Este teclado debería ser parecido al de un piano, pero con todas las prestaciones necesarias para poder controlar a otros instrumentos; ésta será la fuen-

te que se use más a menudo para mandar información MIDI al resto del sistema. Se desprenden de esto unas cuantas consideraciones. En primer lugar, el teclado principal debe ser capaz de enviar todos y cada uno de los mensajes de control que sean precisos: velocidad, presión sobre la tecla «after-touch», alteración de la altura, pedales, cambios en el programa e incluso mensajes procedentes de otros controles analógicos, como interruptores, mandos deslizantes o giratorios, etc. En segundo lugar, el teclado principal debería ser un teclado completo para hacer el máximo uso de los generadores de sonido de los receptores. En tercer lugar, debemos recordar que la propia salida de audio del teclado principal puede sonar cuando éste se pulse, incluso aunque esté transmitiendo a otro aparato; así que tendría que tener un medio de bajarlo o apagarlo, o disponer de una función *Local Off*. Finalmente, los otros instrumentos del sistema no tendrían que tener necesariamente teclados propios, ya que podrían «tocarse» mediante control MIDI desde el teclado principal.

El concepto de expansor, que consiste en un aparato que puede generar sonidos bajo el control MIDI, pero que no tiene teclado propio, se está haciendo popular en los sistemas de grabación en los que se necesitan una gran cantidad de sonidos, y donde el controlador es un secuenciador. Los expansores casi siempre contienen toda la circuitería MIDI y de generación de voces en mucho menos espacio del que ocuparía un equipo equivalente con teclado.

15.4.2 El papel del secuenciador

El secuenciador es un aparato que almacena la información MIDI tomada de una o más entradas MIDI, y puede entregarla de nuevo en una o varias de sus salidas, eso sí, después de sufrir un cierto retardo. En medio de estas dos operaciones (entrada y salida) tienen lugar una serie de tratamientos u operaciones sobre los datos; estas operaciones pueden hacerse de diferentes maneras: musicalmente sobre una «partitura» visual; numéricamente en una tabla de datos de MIDI; o mediante la sustitución de ciertas notas por otras introducidas desde el teclado. El secuenciador puede tener algunas funciones automáticas de manipulación, como la capacidad de «alinear en el tiempo» o «cuantificar» el ritmo de la información que se transmite. Una cosa importante es la capacidad de «canalizar» los datos transmitidos mientras se graba, para que la entrada del teclado principal pueda controlar diferentes dispositivos seleccionando diferentes pistas en el secuenciador. El canal que retransmite no tiene por qué ser el mismo que el que hizo la transmisión original.

Otras funciones -automáticas o seleccionables manualmente- pueden ser: la posibilidad de desechar cierta información que no se necesita, ya sea antes o después de la grabación; la capacidad de sincronizar los datos de salida con una referencia temporal, como pueden ser el Código de Tiempo MIDI o los punteros de canciones MIDI; y la capacidad de insertar secciones dentro de la grabación. Esta no pretende ser en modo alguno una lista completa, puesto que una vez que los datos MIDI llegan al ordenador puede ordenarse sobre ellos cualquier función, con el único límite del programa que se esté ejecutando. Las características de los distintos programas para secuenciador varían muy rápidamente, por lo que cualquier intento de resumirlas aquí podría resultar muy poco útil.

15.4.3 Los retardos en los sistemas MIDI

En los grandes sistemas MIDI pueden aparecer retardos considerables en los datos, debido principalmente al hecho de que el interfaz es del tipo serie. Un acorde de seis notas, en el que todas ellas son tocadas a la vez, debe transmitirse enviando una nota a continuación de la otra. Un mensaje de 3 bytes tarda cerca de un milisegundo en transmitirse, con lo que un acorde de 6 notas tardará 6 milisegundos (aunque el Estado Operativo reduciría esto de forma considerable). Podemos ver esto mediante un ejemplo de un sistema con muchos dispositivos,

cada uno de los cuales está enviando acordes de seis notas desde un secuenciador y sobre el mismo interfaz; además, se añaden mensajes en tiempo real y cambios de control. Pues bien, resulta evidente que en una situación como esta es necesario guardar una cuidada organización y un correcto orden en la transmisión de los datos. Cuantos más datos deba transmitir un secuenciador a través de un bus MIDI, mayor será la dificultad para presentar los datos de salida de cada canal en el instante de tiempo apropiado.

Durante el volcado de datos en los «buffers» de entrada de los receptores se producen retardos adicionales, que impiden que los datos puedan procesarse con la suficiente velocidad en el receptor. También nos encontramos con que algunos aparatos tienen un tiempo de proceso de datos mucho mayor que otros. Existen teclados MIDI en el mercado que pueden tener hasta muchos milisegundos de retardo, desde que reciben el mensaje hasta que actúan sobre él.

15.4.4 Matrices de encaminamiento

Se deben considerar dos tipos de matrices de encaminamiento: la inteligente y la no inteligente. La matriz inteligente permite que una o varias MIDI IN (o un enlace paralelo de alta velocidad procedente del ordenador controlador) sean enviadas hacia cierto número de THRU o de OUT, siendo tratadas de alguna manera en el camino. Esto implicaría la «canalización» de los datos, añadiéndoles quizá un cierto grado de modificación o filtro, similar al que tienen algunos secuenciadores (movimiento y filtrado, por ejemplo).

La matriz no inteligente simplemente tomaría los datos de las entradas y los encaminaría hacia determinadas salidas. Es bastante común que una entrada se pueda redirecccionar a varias salidas; así, un controlador puede alimentar a diversos receptores. Esto es muy útil para reducir la cantidad de cables que se tienen que conectar una y otra vez para cambiar temporalmente de aparato principal o modificar temporalmente el sistema. Asimismo elimina las cadenas en margarita demasiado largas que, en caso contrario, podrían ser necesarias.

15.4.5 Ejemplos prácticos de sistemas

Concluiremos con dos ejemplos de sistemas MIDI prácticos, uno simple y el otro bastante complicado. El sistema mostrado en la figura 15.6 incorpora un teclado principal, un secuenciador ejecutándose en un ordenador, un expansor multitímbrico, y una caja de percusión. Una configuración básica como esta permitiría cierta cantidad de experimentación con el control de voces o de pistas, especialmente si el teclado principal fuera un buen sintetizador.

Si suponemos que el expansor es un aparato multitímbrico de 8 voces, sería posible obtener de él 8 líneas monofónicas de voz de manera simultanea, o combinaciones de acordes y melodías con la consiguiente reducción del numero de «sonidos» (por ejemplo: acordes de cuatro notas en una voz, más cuatro líneas simples de voces separadas). El generador de voces del teclado actuaría como otro expansor. La caja de percusión podría utilizarse para las pistas de ritmo, ya fuera almacenando los datos internamente (muchas de estas cajas de percusión contienen sus propios secuenciadores) o utilizando el ordenador principal.

Los salidas de cada generador de sonido podrían alimentar un mezclador básico, consiguiéndose más flexibilidad si el expansor y la maquina de ritmos tuvieran salidas separadas para cada voz (lo contrario de lo que ocurre con una simple salida mono o estéreo), puesto que el operador podría ecualizar cada sonido, ajustar su nivel y hacer un control de panorámica. Podemos observar que la distribución de datos se hace en forma de cadena de margarita, que resulta apropiada en este caso, ya que el número de aparatos es pequeño. Aquí, cada aparato deberá configurarse para recibir a través de un canal MIDI independiente. El expansor debe configurarse para recibir en cierto número de canales, dependiendo de la colocación de las voces.

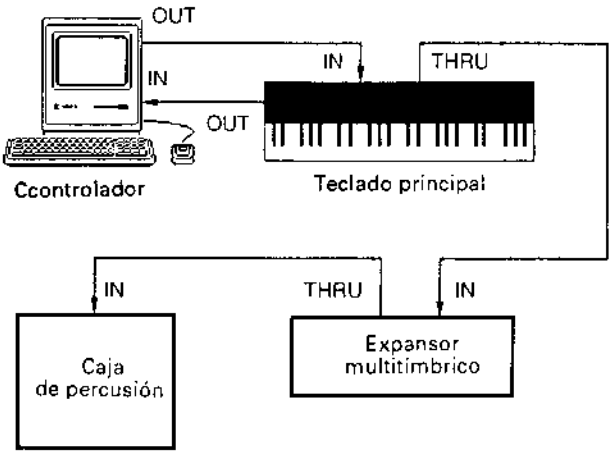


Figura 15.6 En un sistema sencillo de grabación MIDI controlado por ordenador se utiliza un teclado principal para enviar información al ordenador. Esta información se almacena y a continuación se reproduce, dirigiéndola, mediante diferentes canales MIDI, hacia los tres dispositivos que componen la cadena en forma de margarita.

La figura 15.7 nos muestra un sistema de grabación complejo, sincronizado con un código de tiempo procedente de un magnetófono, incorporando mezcla automática y encaminamiento de audio. En este sistema, el mismo ordenador que maneja la música, hace lo propio con los datos de automatización del mezclador, que se transmiten desde éste hacia el ordenador, a través de un único canal MIDI. Para este mezclador se han dispuesto unas funciones MIDI fácilmente comprensibles (niveles de *fader,* «mutes», encaminamientos, etc.), pero el sistema se acomodaría también a un nivel de implementación MIDI más bajo en el mezclador (por ejemplo: solo silenciamientos, o «mutes»).

El encaminamiento de los datos resulta algo más complicado en esta ocasión, y existen diferentes opciones. Sin embargo, en una operación normal el mezclador sería simplemente un destino más de los datos que proceden del ordenador, tomando su entrada de la matriz MIDI y recibiendo sobre un único canal MIDI. Con el fin de grabar los datos mezclados en el secuenciador sería normal utilizar los propios *faders* y otros controles del mezclador, y encaminar el MIDI OUT del mezclador hacia la entrada del ordenador; a continuación se grabaría en una única pista del secuenciador al mismo tiempo que éste reproduce cualquier pista pregrabada. Es posible que la grabación de los datos de la mezcla se hiciera después de haber grabado todas las pistas de música, en cuyo caso los datos de la mezcla podrían simplemente fundirse junto con los datos de tiempo procedentes del sincronizador, en lugar de los del teclado principal. Los datos de la mezcla podrían grabarse al mismo tiempo que tiene lugar una reproducción síncrona de distintas pistas pregrabadas. Se plantea una situación problemática cuando tanto los datos de la mezcla como los datos sobre el tiempo y los del teclado principal son requeridos simultáneamente por el secuenciador. Este problema puede evitarse (dependiendo del sistema de que se trate) «fundiendo» los datos del mezclador con los del teclado, y enviándolos al ordenador junto con los datos sobre el tiempo; este envío se realiza a través de una segunda entrada MIDI o a través de un lector de código de tiempo dedicado. Para este propósito puede ser útil un «combinador», que estaría alimentado por dos salidas de la matriz de encaminamiento. Después de fundir las dos salidas las convertiría de nuevo en una entrada única: las salidas del mezclador y del teclado podrían ser encaminadas hacia sendas entradas del combinador, y la salida de éste enviada hacia la entrada del ordenador.

Si se van a utilizar unos cuantos mezcladores pequeños, entonces las salidas de cada uno podrían ser mezcladas con las demás, suponiendo que se va a grabar una única señal de datos MIDI del mezclador. El secuenciador podría entonces alimentar todos los mezcladores a partir de la salida de una matriz, a través, quizá, de una caja MIDI THRU que tenga suficientes salidas para todos los mezcladores. Cada mezclador recibiría posiblemente en un canal diferente, dependiendo de la disponibilidad, pero son tantas las posibles formas de operación lle-

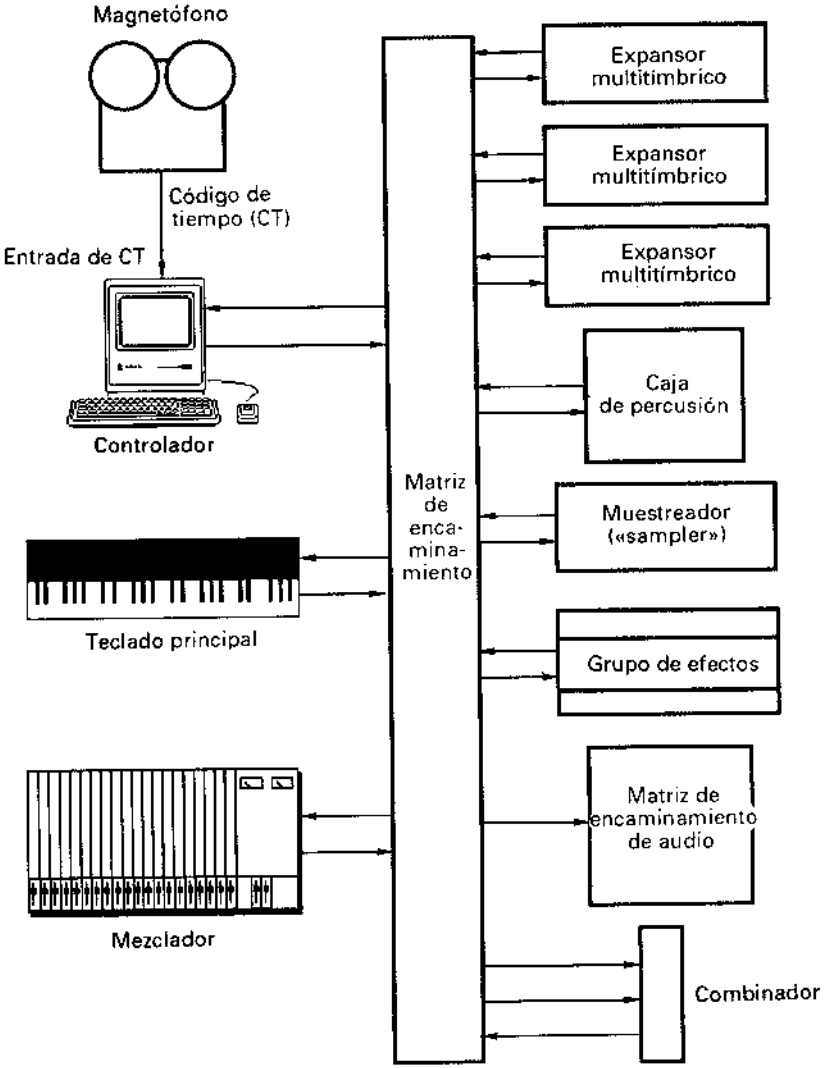


Figura 15.7 En una red MIDI compleja la matriz de encaminamiento puede utilizarse para determinar las fuentes y los destinos de los datos MIDI. Las configuraciones se pueden archivar en la memoria y ser llamadas rápidamente *a posteriori*. Mediante un combinador se pueden «fundir» dos flujos de datos MIDI en uno; esto es particularmente útil cuando dos aparatos están generando datos de control (por ejemplo: el mezclador y el teclado principal).

gados a este punto, que el usuario debe empezar a pensar seriamente en cómo optimizar los canales, los enlaces físicos y las asignaciones de parámetros de control MIDI, si quiere lograr una operación totalmente satisfactoria.

A la matriz MIDI se ha conectado una matriz de encaminamiento de audio, cuyas funciones ya han sido sugeridas. Este aparato recibiría cambios del programa desde el ordenador, para redireccionar el audio cuando fuera necesario, de acuerdo con ciertos patrones preestablecidos. Podría utilizarse también algún programa en el ordenador para un propósito concreto: programar la matriz de audio.

Para terminar, pero no por ello menos importante, la propia matriz MIDI puede ser programada por el ordenador, de manera que ciertos encaminamientos prefijados pueden ser grabados temporalmente, y «rellamados» con ciertos numeros de cambio de programa. Esto puede resultar peligroso, especialmente si la matriz de encaminamiento responde a los cambios de programa destinados a otros aparatos; debería, por tanto, estar sometida a un control estricto.

Lecturas recomendadas

IMA (1987) *MIDI Timecode and Cueing: Detailed Specification.* International MIDI Association, 5316 W. 57th St., Los Angeles, CA 90056, USA.

IMA (1988) *Standard MIDI Files 1.0.* International MIDI Association.

Miles-Huber, D. (1991) *The MIDI Manual.* Howard W. Sams and Co.

Rumsey, F. J. (1990) *MIDI Systems and Control.* Focal Press.

Código de tiempo y sincronización

La diferencia que hay entre trabajar con señales de video y con señales de audio es cada vez menor. Así por ejemplo, herramientas como el código de tiempo, que han sido siempre aplicadas al campo del video, se utilizan también hoy dentro del mundo del audio. El código de tiempo se usa ampliamente en el campo de la postproducción de audio para sincronizar distintas máquinas y ofrecer una referencia de posición en tiempo real para soportes de cinta. También es muy empleado en edición de video, edición de grabaciones de audio digital y en sistemas de disco duro (ver sección 10.9), para compilar listas de edición y para sincronización. La mayoría de los magnetófonos analógicos modernos pueden trabajar con código de tiempo, al igual que lo hacen los grabadores digitales profesionales. Algunos, incluso, disponen de sincronizadores «de seguimiento».

En el presente capítulo se discuten los principios básicos del código de tiempo y de la sincronización entre máquinas. Se omite, no obstante, el hablar de los distintos sistemas usados antiguamente –y que continúan en uso en algunos casos– para la sincronización en cine. El código de tiempo MIDI (MTC) fue tratado en la sección 15.3.3.

16.1 Código de tiempo SMPTE/EBU

La sociedad americana de ingenieros de cine y televisión (SMPTE) propuso en 1967 un sistema para permitir editar de forma precisa en cinta de video. Desde entonces este sistema se conoce simplemente como código SMPTE y se trata, básicamente, de una indicación continua acerca del tiempo transcurrido desde un determinado momento (esta indicación puede ser la hora del día). La anotación se hace mediante un reloj de ocho dígitos, especificando horas, minutos segundos y cuadros «frames». La información de reloj se codifica dentro de una señal que se graba en una pista de audio de la cinta. En una determinada cinta de video cada cuadro está inequívocamente representado por un único número, denominado dirección del subcódigo, que puede utilizarse para definir con absoluta precisión un determinado punto de edición.

La frecuencia de cuadro varía en función del formato de televisión de que se trate. Este parámetro no es ni más ni menos que el número de imágenes fijas por segundo que se emplean para dar la sensación de movimiento en la imagen de video. Los distintos formatos son:

- 30 cuadros por segundo (fps), o SMPTE verdadero. Se usaba para televisión monocroma en América, y en la actualidad para el formato 1630 de Sony (ver sección 10.5.1).
- 29'97 fps, usado en televisión NTSC color (principalmente en EE.UU., Japón y zonas de Oriente Medio); se denomina «SMPTE drop-frame», o de «pérdida de cuadro» (ver Ficha Temática 16.1).

FICHA TEMÁTICA 16.1 Código de tiempo «Drop-Frame»

Cuando se introdujo en EE.UU. la televisión en color según el estándar NTSC, se vio la necesidad de cambiar ligeramente la frecuencia de cuadro con el fin de acomodar la información de color dentro del mismo espectro de transmisión. La frecuencia de 30 cuadros/segundo (fps) de la televisión monocroma, elegida originariamente para enganchar con la frecuencia de la red en América (60 Hz), se cambió así a 29'97 fps; se adoptó esta decisión puesto que ya no había necesidad de mantener el sincronismo con la frecuencia de red, a causa de la mayor estabilidad de los osciladores. Para que el código de tiempo de 30 fps pudiera sincronizar con la nueva frecuencia, era necesario eliminar dos cuadros cada minuto, excepto el de cada década de minuto; con esto la deriva a largo plazo entre la imagen y el código de tiempo no sobrepasaba los 75 ms cada 24 horas. Las deriva a corto plazo va creciendo gradualmente hasta llegar al límite de cada minuto; en ese instante se pone a cero.

Para indicar que se está trabajando con un código de tiempo NTSC de pérdida de cuadro «drop-frame» la palabra de código de tiempo se señala con una bandera. Este tipo de código debería emplearse para todas aquellas aplicaciones en las que la grabación deba enganchar en algún momento con un programa de video NTSC.

- 25 fps, usado en los formatos de televisión PAL y SECAM; se denomina también «EBU» (Europa, Australia, etc.).
- 24 fps, usado en cine.

Cada cuadro, o «frame», del código de tiempo se representa mediante una palabra binaria de 80 bits, dividida en grupos de 4 bits. Cada uno de estos grupos representa en BCD (decimal codificado en binario) un determinado parámetro: decenas de horas, unidades de horas, decenas de minutos, y así sucesivamente (ver figura 16.1). En ocasiones no son necesarios los cuatro bits de cada grupo -las horas sólo llegan hasta «23», por ejemplo-. En estos casos los restantes bits se pueden utilizar con fines de control especial, o bien se pueden poner a cero (sin asignar). Se utilizan un total de 26 bits de dirección para asignar a cada cuadro un valor único en horas, minutos, segundos y «frames». Existen además 32 «bits de usuario», que pueden emplearse para codificar información sobre número de carrete, número de escena, día del mes, etc. Cuando el bit número 10 está puesto a «1» indica que se está en el modo «drop-frame», y cuando el bit número 11 vale «1» significa que se trabaja en el modo color (29'97 fps). El final de cada palabra consta de una secuencia única de 16 bits, denominada «palabra de sincronismo», que sirve para marcar el límite entre un cuadro y el siguiente. Al mismo tiempo informa al lector sobre el sentido en el que se está leyendo el código de tiempo, puesto que la palabra de sincronismo comienza por 11 en un sentido y por 10 en el otro.

Esta información binaria no puede grabarse directamente en la cinta, puesto que su ancho de banda es demasiado grande. Se modula de acuerdo con el código de canal «marca bifase», o FM, que se ajusta a la siguiente norma: hay un cambio en el estado del canal cada vez que se atraviesa una célula de bit de datos; además, cuando el dato es un 1 se produce una transición adicional dentro del período de bit (ver figura 16.2). El resultado tiene aspecto de una onda cuadrada con dos frecuencias, dependiendo de que haya unos o ceros en los bits de datos. En función de la frecuencia de cuadro, la frecuencia máxima de la onda cuadrada contenida en la señal de código de tiempo será 2400 Hz (80 bits x 30 fps) ó 2000 Hz (80 bits x 25 fps), y la frecuencia más baja será 1200 Hz ó 1000 Hz. La grabación de estas frecuencias resulta bastante fácil. El código de tiempo puede leerse tanto hacia adelante como hacia atrás, e incluso con fase invertida. Los lectores admiten un amplio margen de velocidades, que va desde 0'1 hasta 200 veces la velocidad de reproducción. El tiempo de conmutación de la señal, o

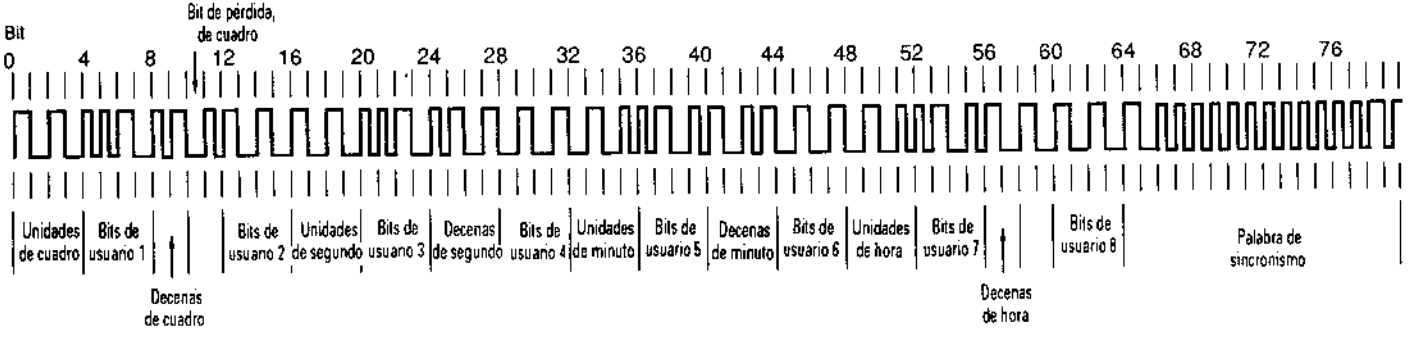


Figura 16.1 Formato de cuadro en el código de tiempo SMPTE/EBU.

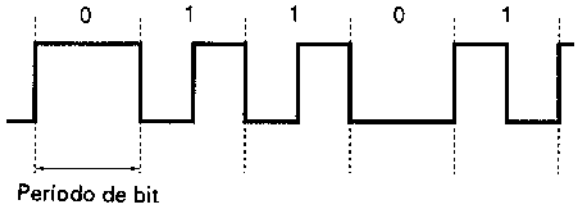


Figura 16.2 Los datos de un código de tiempo lineal se modulan antes de la grabación, empleando la codificación conocida como «marca bifase», o FM (modulación de frecuencia). Con cada límite entre células de bits se produce una transición; además, cuando el dato es «1» hay una transición adicional dentro de la célula de bit.

sea, el tiempo que emplea en bascular entre sus dos extremos, está especificado como 25 µs ± 5 µs; esto requiere un ancho de banda de unos 10 kHz.

Existe otro tipo de código, conocido como VITC («Vertical Interval Timecode», código de tiempo con intervalo vertical), ampliamente usado en magnetoscopios. El VITC no se graba en una pista de audio, sino durante el período de sincronismo vertical de una imagen de video. De esta forma puede leerse siempre que se lea la señal de video, incluso en cámara lenta o en modo pausa. No trataremos con más profundidad este código.

16.2 Código de tiempo en grabación

El código de tiempo puede ser grabado, o «trazado», en una cinta antes, durante o después de grabar el propio programa, dependiendo de cada aplicación. En muchos casos el código de tiempo debe engancharse a la misma referencia de velocidad que se usa para fijar la velocidad del magnetófono o magnetoscopio. De no ser así, podría producirse una deriva a largo plazo entre la longitud de un pasaje sobre la cinta y esa misma longitud expresada en términos de código de tiempo. Esta referencia se presenta a veces en forma de señal de sincronismo de video compuesto. Por este motivo en los magnetófonos digitales se dispone de una entrada de sincronismo de video «video sync».

Los generadores de código de tiempo pueden presentarse en formas diferentes, ya sea como dispositivos estacionarios, como parte de un sincronizador o editor, o bien integrados dentro del propio magnetófono. En centros de producción grandes el código de tiempo se genera a veces de forma centralizada, y se distribuye por los distintos puntos de uso y a través del panel de conmutación. Cuando se genera externamente, el código de tiempo aparece por lo general en un conector XLR o en un «jack», como si se tratara de una señal de audio, y deberá enviarse después a la correspondiente pista para código de tiempo en el magnetófono. La mayoría de los generadores permiten al usuario prefijar el tiempo de comienzo y el estándar de frecuencia de cuadro.

El código de tiempo se graba por lo general en una pista externa del multipista (normalmente en la pista 24), o bien en una pista de «cue», específica para código de tiempo, en el caso de los multipistas digitales. Su nivel suele ajustarse unos 10 dB por debajo del nivel de referencia. Como la señal de código de tiempo tiene una frecuencia muy audible, existen a menudo problemas de diafonía entre pistas o entre cables adyacentes. Algunos magnetófonos analógicos de cuarto de pulgada con formato de pistas NAB (ver sección 8.4.1) permiten grabar el código de tiempo en el centro de la banda de guarda que hay entre pistas de audio. Esto se denomina «código de tiempo en pista central», y su configuración puede verse en la figura 16.3. Para evitar diafonías se emplean cabezas separadas para audio y para código de tiem-

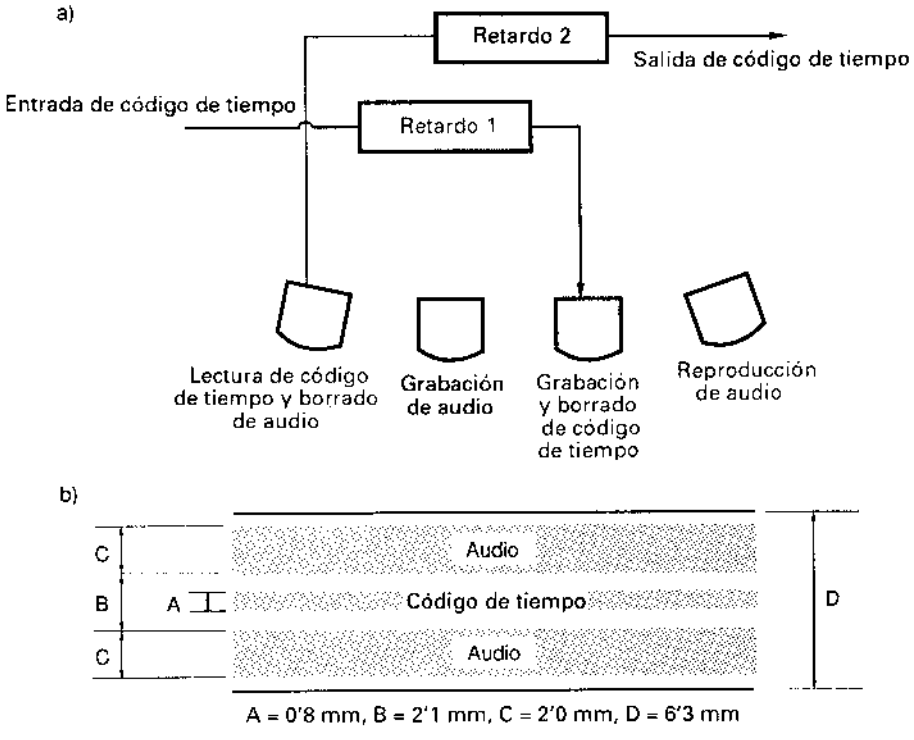


Figura 16.3 Pista central de código de tiempo en una cinta de cuarto de pulgada. (a) Cuando se utilizan cabezas separadas para grabar y reproducir el código de tiempo en la banda de guarda es necesario el uso de retardos (también existen cabezas combinadas). (b) Dimensiones físicas del formato de código de tiempo en pista central.

po, si bien algunos fabricantes han conseguido eliminar este problema y utilizan las mismas cabezas para ambos propósitos. En el primer caso se hace uso de una línea de retardo para sincronizar el código de tiempo con el audio.

Los aparatos R-DAT profesionales son, por lo general, capaces de grabar código de tiempo. Para ello, convierten éste en un código interno DAT que indica el tiempo transcurrido en la cinta; se graba en la zona de subcódigo de las pistas. En reproducción puede obtenerse cualquier frecuencia de cuadro, sin importar cuál se utilizó en grabación; esto es de gran utilidad a la hora de trabajar en un entorno con distintos formatos.

En trabajos de video y cine, donde se emplean a menudo aparatos separados para grabar sonido e imagen, es necesario disponer de código de tiempo tanto en el magnetófono como en el grabador de video o cine. Esto puede hacerse utilizando el mismo generador de código de tiempo para alimentar a ambas máquinas, pero es más frecuente que cada una tenga su propio generador y que ambos relojes -que estarían contando tiempo absoluto dentro de cada día- se sincronicen al comienzo de cada rodaje. Mediante un control por cristal de cuarzo se asegura que el sincronismo entre los relojes se mantendrá con suficiente estabilidad; no importa si dos o más máquinas funcionan en momentos diferentes y durante diferentes períodos de tiempo, puesto que cada cuadro tiene su propia identificación dentro del código de dirección de cada día; esto permite sincronizar perfectamente durante la postproducción.

El código de tiempo debería comenzar a grabarse unos 20 segundos antes del comienzo de la señal de programa, para dar tiempo a que se sincronicen entre sí las distintas máquinas y ordenadores. Si el contenido del programa está repartido en varios carretes de cinta, el generador de código de tiempo debería ajustarse de forma que ningún número se repita de un carrete a otro, evitando así confusiones durante la postproducción. Como alternativa, se pueden numerar los distintos carretes.

16.3 Sincronizadores

16.3.1 Generalidades

Un sincronizador es un dispositivo que lee código de tiempo de dos o más dispositivos y controla la velocidad de las máquinas «esclavas» para que sus códigos tengan la misma «velocidad» que los de la máquina «maestra». Esto se logra modificando la velocidad del cabestrante «capstan» de las máquinas esclavas, con ayuda de una señal de referencia de velocidad, aplicada exteriormente. Esta señal de referencia suele ser una onda cuadrada de 19'2 kHz, cuya frecuencia se utiliza como referencia en el circuito de servocontrol del cabestrante (ver figura 16.4). El sincronizador está controlado por microprocesador, y permite al usuario pro-

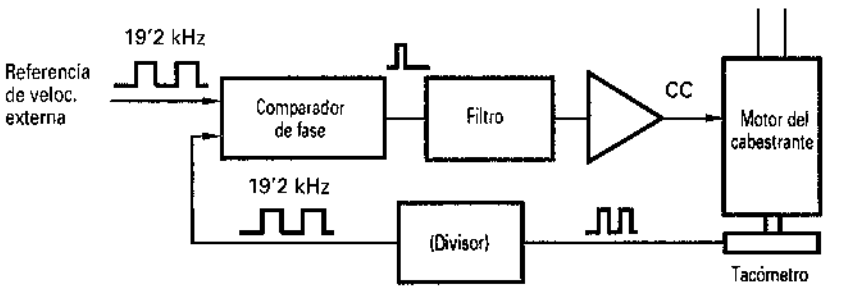


Figura 16.4 El control de velocidad del cabestrante se lleva a cabo normalmente mediante un servocircuito como este. La frecuencia de la onda cuadrada generada por el tacómetro del cabestrante se compara con otra onda, generada externamente, de la misma frecuencia nominal. Una señal proporcional a la diferencia entre estas dos es la que se utiliza para actuar sobre la velocidad del motor del cabestrante, ya sea aumentándola o disminuyéndola.

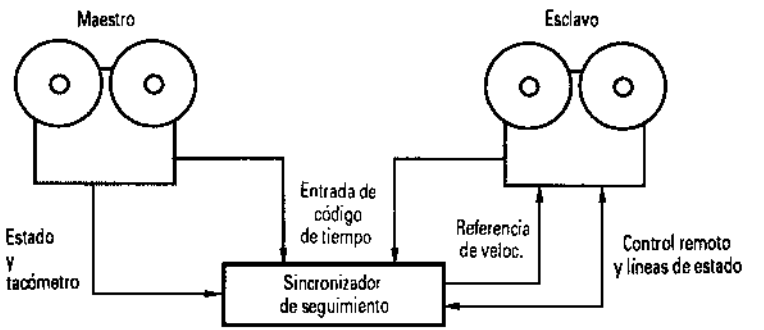


Figura 16.5 Un sincronizador de seguimiento leerá del dispositivo maestro el código de tiempo, el sentido y la información sobre el tacómetro. A continuación lo comparará con la posición del dispositivo esclavo y actuará sobre el control de éste hasta que los dos códigos de tiempo sean idénticos (admitiendo una cierta desviación).

Figura 16.6 Ejemplo de sincronizador modular de seguimiento, que permite control de funciones mediante bus en serie. (Cortesía de Audio Kinetics UK Ltd.)

FICHA TEMÁTICA **16.2** Modos de enclavamiento

Enclavamiento de cuadro o enclavamiento absoluto
Este término, o uno similar, se utiliza para describir el modo en el que trabaja el sincronizador sobre los valores de tiempo absoluto de los códigos maestro y esclavo. Si el maestro hace un salto en el tiempo, debido a una discontinuidad en la edición, por ejemplo, el esclavo tratará de hacer lo mismo. A veces puede ocurrir que éste bobine toda la cinta hasta el final, si no encuentra dicho valor de tiempo.

Enclavamiento de fase o enclavamiento de sincronismo
Estos términos se emplean a veces para describir un modo en el que el sincronizador se enclava (o «engancha») inicialmente con los valores absolutos de código de tiempo en el maestro y los esclavos, conmutando a continuación a un modo en el que simplemente engancha con los límites de cuadro en todas las máquinas, mirando a la palabra de sincronismo en el código de tiempo e ignorando el valor absoluto. Esto resulta útil si se conocen o se pueden anticipar discontinuidades en la pista del código de tiempo; asegura que la máquina no entrará de repente en un bobinado rápido a mitad de un programa.

Reenclavamiento lento y rápido
Una vez establecido el enganche inicial, el sincronizador puede perderlo, debido a una pérdida momentánea de señal de código de tiempo o a una discontinuidad en su fase. En el modo de reenclavamiento rápido el sincronizador tratará de sincronizar las máquinas lo más rápidamente posible, sin tener en cuenta los efectos audibles de cambio de tonalidad en el sonido que ello pueda ocasionar. En el modo de reenclavamiento lento las máquinas se sincronizarán más lentamente, tratando de evitar un efecto audible.

gramar pequeños desplazamientos entre las máquinas maestra y esclavas. Es capaz también de memorizar puntos programados con antelación, para disponer en postproducción de funciones tales como inserción de entrada y salida, bucles y búsqueda automática de pasajes.

16.3.2 Sincronizador de seguimiento

Un sincronizador sencillo de este tipo podría ser simplemente una caja con una entrada de código de tiempo para las máquinas maestra y esclavas, y un interfaz de control remoto para cada una de ellas (ver figura 16.5). Un sincronizador de seguimiento está diseñado para hacer que el dispositivo esclavo *siga* al maestro allí donde este vaya, como si fuera un leal sabueso. Si el maestro comienza un avance rápido, lo mismo hará el esclavo, cuidando siempre el sincronizador que la posición de este último sea lo más próxima posible al primero. Si el maes-

tro entra de nuevo en reproducción, el sincronizador detiene al esclavo lo más cerca posible él y lo lleva también a reproducción, ajustando su velocidad de arrastre para que ambos queden enganchados a la par. En la figura 16.6 podemos ver un ejemplo de un sincronizador de seguimiento.

En los modos de avance y retroceso rápidos el sincronizador no leerá el código de tiempo, puesto que, por lo general, la cinta no estará en contacto con las cabezas y el lector de código de tiempo no será capaz de leerlo a esas velocidades. Sí leerá, sin embargo, pulsos de tacómetro procedentes del rodillo guía del aparato, transferidos a través de un interfaz remoto. El sincronizador estará programado para contar el número de pulsos de tacómetro por segundo de cada máquina (normalmente serán muy diferentes); también podrá obtenerlos automáticamente durante los primeros segundos de la operación. Cuando la máquina entra de nuevo en reproducción, lee otra vez el código de tiempo y ajusta la posición que había estimado; en condiciones normales esta posición debería ser bastante aproximada a la obtenida a partir de los pulsos de tacómetro. A partir de aquí el sincronizador utiliza la diferencia entre los valores de los códigos de tiempo del maestro y del esclavo -admitiendo una cierta desviación- para acelerar o retardar este último, y engancharlo así lo más cerca posible del maestro.

Un sincronizador de este tipo podría utilizarse para enganchar entre sí dos multipistas, e incrementar así el número de pistas disponible, por ejemplo. Puede servir también para unir como esclavo un magnetófono de cuarto de pulgada a un VTR, con el fin de disponer de sonido estéreo síncrono durante una edición en video. Debería actuar como un enlace casi invisible entre las máquinas y debe necesitar atención mínima. No es necesaria una orden del usuario para iniciar un seguimiento; el dispositivo esclavo debe comenzar a moverse tan pronto como detecte una diferencia de su código de tiempo con respecto al del maestro. Algunos sincronizadores de seguimiento de este tipo estarán en funcionamiento aunque no se haya hecho ninguna conexión con el maestro, simplemente siguiendo el código de tiempo presente a su entrada (que puede proceder de cualquier otro punto). Los sistemas difieren entre sí en la forma de reaccionar si el código de tiempo del maestro se pierde momentáneamente o salta en el tiempo. En el primer caso la mayoría de los sincronizadores esperan un par de segundos antes de detener al esclavo; en el último caso pueden tratar de situar al esclavo en la nueva posición (esto dependerá del tipo de enclavamiento empleado, según se explica en la Ficha Temática 16.2).

Algunas máquinas pueden albergar internamente su propio sincronizador de seguimiento, que engancha con la entrada de código de tiempo en la parte trasera del aparato. Pueden tener también un generador de código de tiempo incorporado.

16.3.3 Sincronizador completo

Durante las labores de postproducción es necesario a veces un controlador, que ofrece más prestaciones que un simple sincronizador de seguimiento. Este dispositivo, un ejemplo del cual se muestra en la figura 16.7, permite controlar él sólo varias máquinas, usando si es necesario una red informática de enlace para enviar comandos desde el controlador hasta cada uno de los magnetófonos. En algunos «sistemas de distribución inteligentes» cada magnetófono dispone de un sincronizador local de seguimiento, conectado con el controlador; en este caso el controlador no actúa como sincronizador, sino como «central de comandos» (ver figura 16.8). El bus ES es un bus de control remoto que se emplea cada vez más en este tipo de aplicaciones, y está diseñado para trabajar con equipos de audio y video.

El controlador de sincronismo en un sistema de estas características permitirá memorizar listas completas de edición (EDL), que contienen los desplazamientos que son necesarios aplicar a cada máquina esclava, así como los puntos en los que cada máquina entra o sale de gra-

FICHA TEMÁTICA 16.3

Terminología de uso en un sincronizador

Pre-roll
Es el período previo a un determinado punto de enclavamiento, durante el cual los distintos aparatos están siendo sincronizados en reproducción. Por lo general las máquinas se sitúan unos 5 segundos antes del punto en el que se quiere hacer un enclavamiento; a continuación hacen un «pre-roll» durante 5 segundos, después de lo cual es bastante probable que el sincronizador haya hecho su trabajo. Es raro que las máquinas necesiten más de 5 segundos para sincronizarse entre sí, y normalmente lo harán en menos tiempo.

Post-roll
Es el período que sigue a una inserción programada en un determinado punto. Durante este tiempo las máquinas continúan en reproducción y perfectamente sincronizadas.

Loop (bucle o lazo)
Pasaje de programa que es reproducido de forma repetida, bajo control automático; incluye un «pre-roll» para sincronizar las máquinas antes de que cada una ejecute el bucle.

Drop-in y *drop-out*
Son los puntos en los que el controlador o sincronizador ejecuta sobre un dispositivo esclavo determinadas ordenes de *inserción* o *extracción* durante la grabación, previamente programadas. Son los puntos en los que «entra» o «sale» una grabación. Esto puede ocurrir al comienzo o al final de un bucle.

Offset
Es un valor de código de tiempo programado que compensa la posición de un esclavo con respecto al maestro, a fin de que puedan enclavarse, dentro de una determinada tolerancia. Cada esclavo puede tener un *offset* diferente.

Nudge
En ocasiones es posible ajustar cuadro a cuadro la posición del dispositivo esclavo con respecto al maestro, una vez logrado el enclavamiento de ambas máquinas. Esto permite hacer ajustes finos en sus posiciones relativas.

Bit offset
Algunos sincronizadores permiten hacer compensaciones («offsets») de menos de un cuadro, con resoluciones por debajo de un octavo de cuadro (un bit de código de tiempo).

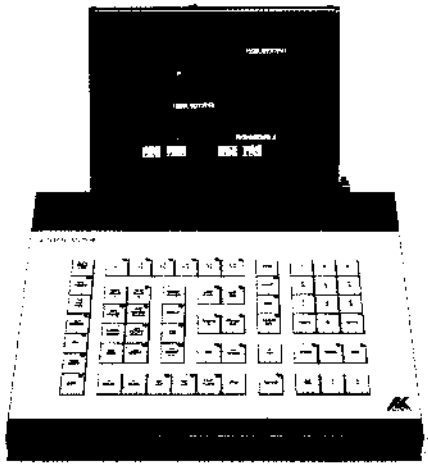


Figura 16.7 Ejemplo de un controlador completo de sincronismo: el modelo *Eclipse* de Audio Kinetics. (Cortesía de Audio Kinetics UK Ltd.)

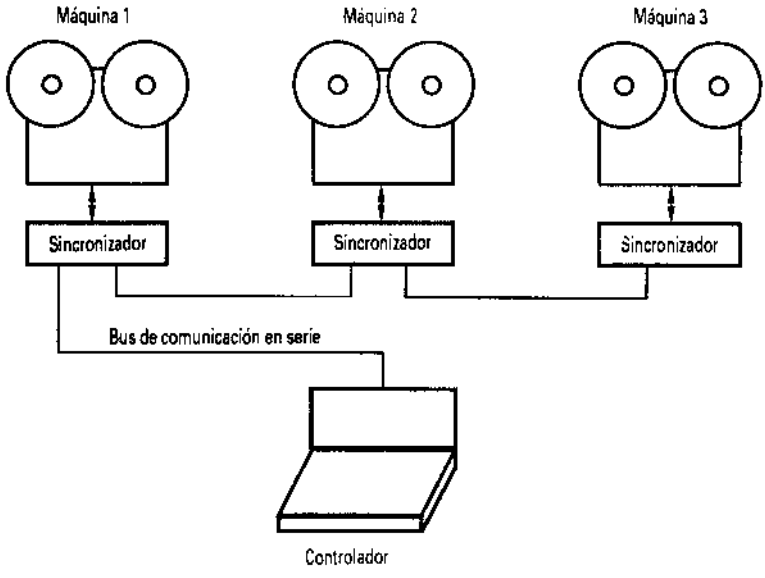


Figura 16.8 En un sistema sincronizado complejo cada máquina está equipada con su propio sincronizador modular, recibiendo comandos procedentes de un controlador conectado en serie.

bación. Esto tiene su aplicación en tareas como la «sustitución automática de diálogo» (ADR), en la que determinadas secciones de un programa pueden ser configuradas para enlazar con un «pre-roll» (ver Ficha Temática 16.3), y entrar en el punto exacto donde debe insertarse el diálogo durante una producción de cine o video. Un grabador multipista puede ser usado como esclavo, insertándolo en determinadas pistas dentro de un proceso de edición de una cinta matriz. De esta forma, se pueden mezclar música y efectos.

En sistemas sincronizados en los que existen equipos de video, el dispositivo maestro es normalmente el de video y los esclavos suelen ser los aparatos de audio. Esto se debe a que resulta más fácil sincronizar máquinas de audio, y a que los equipos de video pueden tal vez necesitar ser enganchados a una referencia de video externa, que determina su velocidad de funcionamiento. En los casos en los que existen varias dispositivos de audio y de video, ninguno de ellos actúa como maestro: es el sincronizador el que cumple este papel, quedando todos los dispositivos como esclavos de él. Su generador de código de tiempo debe estar enclavado a la referencia de video o audio locales, y todas las máquinas sincronizan, a su vez, con dicho generador de código de tiempo. Esta técnica se emplea también en sistemas de edición de video.

Lecturas recomendadas

Amyes, T. (1990) *Técnicas de Postproducción de Audio en Vídeo y Film.* Focal Press. IORTV.

Especificaciones técnicas de los equipos

Para determinar el comportamiento de un sistema de audio y analizar el efecto que produce sobre la señal que lo atraviesa, se pueden seguir dos procedimientos: una valoración objetiva mediante mediciones, o una valoración subjetiva, escuchando el resultado final. En teoría, si el sistema introduce una modificación audible en la señal de sonido, deberíamos ser capaces de medirla, siempre y cuando utilicemos el método adecuado para ello y dispongamos de los medios necesarios. Pero la dificultad para hacer estas medidas aumenta conforme las diferencias entre equipos se hacen menores, y conforme mejora la calidad de los aparatos de alta fidelidad «Hi-Fi». El tratamiento y la grabación digitales han conseguido no degradar en absoluto la señal que se graba o transmite. En las secciones siguientes no tenemos la intención de detenernos en debates sobre las diferencias mínimas en la calidad de sonido de los sistemas Hi-Fi; procuraremos, por el contrario, que el lector obtenga una visión general de las especificaciones más comunes de los distintos sistemas y qué significa cada una de ellas. Describiremos también los efectos audibles que producen las diferentes distorsiones sobre las señales sonoras.

A1.1 Respuesta en frecuencia. Definición

La especificación que más a menudo se menciona en un equipo de audio es la *respuesta en frecuencia*. Es un parámetro que describe la gama de frecuencias cubiertas por el dispositivo, es decir, las frecuencias que puede grabar y reproducir. Para una reproducción de alta calidad, debería cubrirse todo el margen de frecuencias de audio (definido normalmente entre 20 Hz y 20 kHz), aunque hay quien sostiene que podrían apreciarse mejoras audibles si se extiende la respuesta por encima de este margen. Dando sólo el margen de frecuencias no aportamos información alguna sobre el nivel relativo de las diferentes frecuencias, o sobre la amplitud de las señales en los extremos del margen. Por lo tanto, la respuesta en frecuencia tiene que ir acompañada de una serie de especificaciones.

La respuesta en frecuencia ideal es plana, es decir, con todas las frecuencias tratadas de igual manera y ninguna amplificada más que las otras. Técnicamente esto significa que la ganancia del sistema es la misma para todas las frecuencias. Esto se comprobaría aplicando al equipo un nivel de señal de entrada constante y registrando la amplitud de la salida conforme varía la frecuencia de la señal de entrada. En la figura A1.1(a) se muestra un ejemplo donde puede verse que la gráfica del nivel de salida en función de la frecuencia es constante entre 20 Hz y 20 kHz. Este tipo de respuesta en frecuencia se denomina plana. También se muestran en la figura A1.1 ejemplos de respuesta no plana, donde se observa que unas frecuencias son amplificadas y otras atenuadas, afectando al equilibrio entre las diferentes zonas del espectro de audio (los efectos audibles se discuten en la sección A1.3). Normalmente la

respuesta en frecuencia suele darse *referida a la respuesta para 1 kHz.* Esto significa que el nivel de salida a 1 kHz se elige como nivel de referencia, con el cual se comparan las demás frecuencias; a esta referencia se le asigna el valor 0 dB. Por ejemplo, si decimos que la frecuencia de 5 kHz es +3 dB ref. a 1 kHz, queremos decir que esta frecuencia está amplificada 3 dB más que la frecuencia de 1 kHz.

Aunque una gráfica nos da la mayoría de los detalles sobre la respuesta en frecuencia, puesto que muestra lo que sucede para cada uno de los puntos dentro del espectro, en las especificaciones suelen darse únicamente cifras. Normalmente la respuesta en frecuencia se indica dando los límites de frecuencias superior e inferior para los cuales la respuesta «cae 3 dB»; en otras palabras, donde la respuesta es 3 dB más baja que para la señal de 1 kHz. Entre dichas frecuencias límite suponemos que la respuesta es plana, aunque en la práctica esto no siempre se cumple. Como ejemplo, una respuesta de 45 Hz - 17 kHz (-3 dB) nos está indicando que el

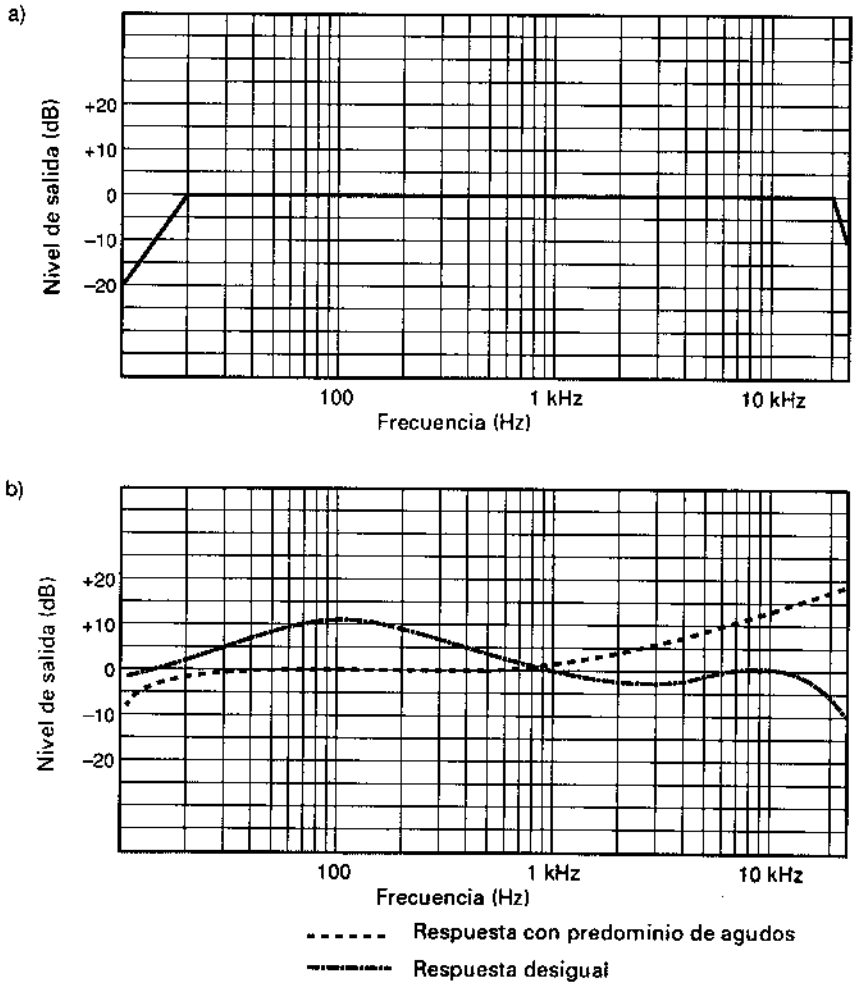


Figura A1.1 (a) Gráfica de una respuesta en frecuencia plana de 20 Hz a 20 kHz. (b) Ejemplos de dos respuestas en frecuencia no planas.

dispositivo maneja una gama de frecuencias entre 45 y 17000 Hz; en dichos extremos la respuesta está atenuada 3 dB respecto al nivel de referencia dado a 1 kHz. Por debajo de 45 Hz y por encima de 17000 Hz cabe esperar que la respuesta vaya disminuyendo paulatinamente.

Una forma más precisa de especificar la respuesta en frecuencia es dar, además de las frecuencias límites, una tolerancia que nos define las variaciones de nivel permitidas respecto al nivel de referencia a 1 kHz. Por ejemplo: 45 Hz - 17 kHz (±3 dB ref. 1 kHz) quiere decir que la respuesta para cualquier frecuencia entre esos límites no se desviará de la respuesta a 1 kHz en más de 3 dB por encima o por debajo.

A1.2 Respuesta en frecuencia. Ejemplos prácticos

Algunos ejemplos prácticos nos pueden ayudar a ilustrar la anterior definición de respuesta en frecuencia. En la tabla A1.1 se recogen la respuestas de distintos dispositivos, de forma que podamos comparar unos con otros.

En primer lugar, los dispositivos puramente electrónicos tienen una respuesta más plana que los que implican un proceso de grabación o reproducción, ya que estos últimos -por utilizar métodos magnéticos, mecánicos u ópticos- son más propensos a tener todo tipo de distorsiones. Un amplificador es un ejemplo de la primera de las categorías, y es difícil encontrar hoy en día un amplificador bien diseñado que no tenga una respuesta prácticamente plana (puede variar menos de 1 dB desde 5 Hz hasta, incluso, 60 kHz). Dentro de la otra categoría estarían los tocadiscos, magnetófonos, altavoces y micrófonos, por nombrar solo algunos, en los que es más difícil diseñar una respuesta plana.

Los dispositivos que convierten sonido en electricidad o viceversa (es decir, los transductores) son más propensos a presentar desviaciones en sus respuestas en frecuencia con respecto al nivel de referencia. Algunos altavoces, por ejemplo, tienen desviaciones de hasta 10 dB o más. Dichos dispositivos se ven afectados por la acústica de su entorno, siendo difícil separar la respuesta del propio dispositivo de la que tiene dentro del entorno en el que se encuentra.

El recinto en el que esté situado el altavoz tiene un efecto importante sobre la respuesta percibida, puesto que dicho recinto resonará a ciertas frecuencias, creando picos y valles de presión dentro del mismo. Dependiendo de la posición del oyente, algunas frecuencias le llegarán más resaltadas que otras, siendo imposible separar qué parte de «culpa» tiene la sala y qué parte se debe al propio altavoz. La respuesta del altavoz se puede medir dentro de una sala denominada «anecoica», que se caracteriza por ser totalmente absorbente y por no producir ningún tipo de efecto en su interior. Actualmente, no obstante, existen otros métodos que no requieren el uso de una sala de este tipo. Un buen altavoz tendrá una respuesta que cubre casi toda la gama de audiofrecuencia, con una tolerancia de alrededor de ±3 dB, siendo más difícil ampliar el límite de las bajas frecuencias que el de las altas. Los altavoces pequeños sólo pueden alcanzar hasta unos 50 ó 60 Hz.

Tabla A1.1 Ejemplos de respuestas en frecuencia típicas de sistemas de audio.

Dispositivo	*Respuesta en frecuencia típica*
Sistema telefónico	300 Hz - 3 kHz
Radio AM	50 Hz - 6 kHz
Casete gran público	40 Hz - 15 kHz (±3 dB)
Magnetófono analógico profesional	30 Hz - 25 kHz (±1 dB)
Reproductor CD	20 Hz - 20 kHz (±0'5 dB)
Altavoz pequeño de buena calidad	60 Hz - 20 kHz (–6 dB)
Altavoz grande de buena calidad	35 Hz - 20 kHz (–6 dB)
Amplificador de potencia de buena calidad	6 Hz - 60 kHz (±3 dB)
Micrófono omnidireccional de buena calidad	20 Hz - 20 kHz (±3 dB)

Los magnetófonos analógicos ecualizan la señal para conseguir una respuesta en frecuencia lo más plana posible, pero esto sólo se puede lograr con algunos tipos de cinta y compuestos magnéticos específicos. Una cinta no apropiada puede dar lugar a una respuesta no plana, a no ser que la máquina se adapte a la cinta. Los reproductores de casetes tienen distintas posiciones de ecualización para los diferentes tipos de cinta; de esta forma se asegura que tanto la respuesta en frecuencia como otros parámetros sean los óptimos para cada soporte magnético. Es posible variar la respuesta en frecuencia de un magnetófono analógico actuando sobre el nivel de grabación, puesto que a niveles de grabación altos los agudos pueden resultar «comprimidos» porque la cinta es incapaz de retenerlos. Por esta razón, la respuesta del equipo se da para niveles de grabación relativamente bajos, unos 20 dB por debajo del nivel de referencia (véase sección 8.5).

FICHA TEMÁTICA A1.1 Respuesta en frecuencia subjetiva

Subjetivamente las desviaciones sobre una respuesta en frecuencia plana afectarán a la calidad del sonido. Si de lo que se trata es de procesar la señal original sin modificar sus características, la respuesta plana asegurará que se mantienen las relaciones originales entre las amplitudes de las distintas partes del espectro de frecuencias. Si, por ejemplo, se realzan las bajas frecuencias con respecto a las altas, el sonido original quedará alterado, pasando a ser más grave. Es importante no caer en un error por el hecho de que la respuesta del oído humano no es plana (ver Capítulo 2), ya que esto no implica que la respuesta de los equipos de audio tampoco deba serlo. En un equipo de audio lo más importante es que el sonido salga del sistema tal como entró.

Algunas formas de modificar la respuesta plana ideal son más aceptables que otras. Por ejemplo, una caída suave al final del margen de alta frecuencia (AF) a menudo no conlleva pérdida de información, puesto que no existe mucha energía sonora en ese punto. Los magnetófonos y receptores de radio FM domésticos, por ejemplo, tienen el límite superior alrededor de los 15 kHz, pero su respuesta es relativamente plana por debajo de este valor, y por esto no producen un sonido desagradable. Por el contrario, una respuesta en frecuencia que no sea tan plana en el espectro de audio, sonará peor, aunque su margen de frecuencias sea mayor que en el caso de los receptores de FM.

Si la respuesta de un sistema acentúa las altas frecuencias, entonces las componentes silbantes del sonido resultarán enfatizadas y la música sonará «brillante» y «chillona»; el soplo de fondo quedará, así mismo, resaltado. Por el contrario, si la respuesta tiene pérdidas en altas frecuencias el sonido resultará «oscuro» y «amortiguado»; se tendrá la impresión de que se reduce el soplo de fondo. Si la respuesta realza las bajas frecuencias, el sonido será entonces más «atronador», y los graves resultarán más fuertes. Finalmente, si desaparecen las bajas frecuencias, el sonido quedará muy «fino» y «metálico». Por otro lado, una acentuación en la gama de frecuencias medias daría lugar a un sonido algo «nasal», que podría llegar a ser chillón, dependiendo de la gama de frecuencias afectadas.

Con respecto a los efectos que producen las frecuencias muy altas o muy bajas, próximas a los límites de audición humana, podemos decir que si reproducimos sonidos por debajo de los 20 Hz se mejora la escucha, ya que estas frecuencias causan vibraciones de los alrededores. Así mismo, la respuesta en frecuencia del oído no cae bruscamente en los extremos del espectro, sino que lo hace de forma gradual. Por tanto, no es cierto que no seamos capaces de oír absolutamente nada por debajo de 20 Hz y por encima de 20 kHz; simplemente oímos mucho menos. De la misma forma, una respuesta en agudos que vaya más allá de los límites normales ayuda a veces a mejorar la calidad del sonido. Una caída suave en alta frecuencia implica normalmente tener que usar filtros con pendientes menos abruptas, lo que, a su vez, redunda en una mejor calidad del sonido final.

Los discos de larga duración (LP) son ecualizados en dos fases: antes de su corte en fábrica, para darles una respuesta no plana (realce en altas frecuencias), y antes de la reproducción en el tocadiscos (atenuación de las altas frecuencias), para reestablecer el correcto balance de frecuencias. Las razones para esto se explican en la sección 11.2. Si el ecualizador RIAA integrado en el amplificador que reproduce la grabación no está bien diseñado (es decir, no efectúa la ecualización contraria a la que se realizó antes del proceso de grabación) no conseguirá el mismo balance de frecuencias que tenía la señal original. Esto suele suceder en equipos Hi-Fi baratos.

Los micrófonos, por su parte, difieren mucho entre sí en cuanto a sus características. Su respuesta en frecuencia depende de su diagrama de directividad y del diseño (véase Capítulo 4). Mientras que los micrófonos gran público tienen una respuesta que se extiende hasta los 10 ó 12 kHz, los profesionales pueden cubrir, al menos, hasta los 20 kHz. El límite de baja frecuencia en el espectro también puede variar, siendo los micrófonos omnidireccionales los que tienen una respuesta más amplia en esta zona. La respuesta del micrófono varía con el ángulo de incidencia de la fuente.

A1.3 Distorsión armónica. Definición

La distorsión armónica es otro parámetro dado en las especificaciones de los sistemas de audio. Esta distorsión es el resultado de lo que denominamos la «falta de linealidad» de un dispositivo, es decir, que la señal que extraemos del dispositivo no es la misma que la que hemos introducido en él. El tipo de alinealidad que se va a tratar aquí es el que afecta a la forma de onda. En el Capítulo 1 ya vimos que únicamente las ondas senoidales son completamente «puras», pues constan de una sola frecuencia, sin armónicos. Las ondas más complejas pueden ser analizadas dentro de un conjunto de componentes armónicas, basadas en la frecuencia fundamental de la onda. La distorsión armónica en los equipos de audio aumenta cuando la forma de onda varía ligeramente entre la entrada y la salida. Esto ocurre porque se introducen en la señal armónicos que no estaban presentes originariamente: el sonido resulta modificado (ver figura A1.2). Siempre hay una pequeña cantidad de distorsión armónica porque no existe un dispositivo que transmita una señal sin introducirle modificación alguna; sin embargo, en la mayoría de los amplificadores éstos niveles pueden reducirse hasta valores extremadamente bajos (ver sección A1.6).

La distorsión armónica se da como porcentaje de la señal que la ha originado (por ejemplo: THD 0'1% @ 1 kHz), pero al igual que en la respuesta en frecuencia, debemos especificar el tipo de distorsión armónica y bajo qué condiciones se produce. Debemos distinguir entre distorsión del *tercer* armónico y distorsión armónica *total*, aunque desgraciadamente ambas pueden abreviarse con las mismas tres letras: «THD». No obstante, THD suele referirse a la distorsión armónica total.

La distorsión armónica total es la suma de las contribuciones de todos los armónicos introducidos por el dispositivo, asumiendo que la onda original ha sido filtrada. Se mide introduciendo un tono senoidal de 1 kHz a la entrada del dispositivo, y analizando después la distorsión resultante para un determinado nivel de entrada. La frecuencia y el nivel de la señal senoidal aplicada depende del tipo de dispositivo y de la prueba a realizar. Medir la distorsión del tercer armónico consiste simplemente en hallar la amplitud de salida del tercer armónico de la frecuencia de entrada. Se hace normalmente para magnetófonos, puesto que el tercer armónico es el que tiene más importancia en los sistemas de grabación magnética.

Es importante especificar el nivel y la frecuencia para las que se dan las especificaciones de la distorsión, puesto que en muchos equipos de audio la distorsión varía enormemente en función de estos dos parámetros (ver sección A1.6).

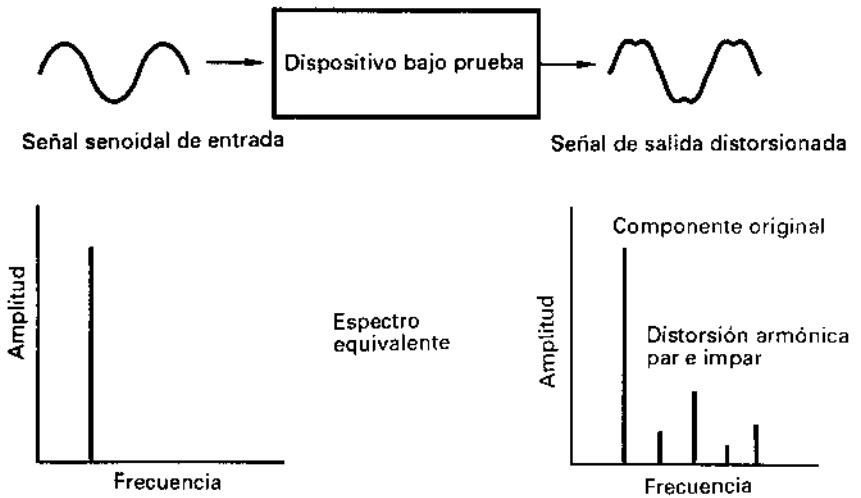


Figura A1.2 Una señal senoidal a la entrada está sujeta a la distorsión armónica del dispositivo bajo prueba. La forma de onda a la salida es diferente a la de entrada, y su espectro equivalente contiene componentes en los armónicos de la frecuencia original.

A1.4 Distorsión armónica. Ejemplos prácticos

En los amplificadores el porcentaje de distorsión no suele variar mucho con el nivel de entrada, pero sí ligeramente con la frecuencia. En los magnetófonos puede variar ampliamente en función del nivel de grabación y de la frecuencia. En los transductores el porcentaje de distorsión se mantiene constante aunque varíe el nivel de entrada, aunque para los más baratos dicha distorsión puede tener un alto nivel.

En la tabla A1.2 se muestran algunos porcentajes típicos de THD para diferentes dispositivos de audio. Los niveles más bajos se obtienen con amplificadores y equipos de audio digital, siendo muy dispares para el resto.

Las características de distorsión de los sistemas de audio digital se tratan en la sección 10.3. En equipos analógicos de cinta la distorsión se suele dar en forma de *nivel máximo de salida*, o *MOL*, que es el nivel de grabación para el que la distorsión del tercer armónico alcanza un cierto porcentaje. Dicho nivel será el máximo de grabación que se puede considerar. En los grabadores profesionales ese porcentaje es del 3% a 1 kHz y en casetes de consumo doméstico es del 5% a 315 Hz. Como valores típicos, cabe esperar que este porcentaje de distorsión se alcance para un nivel de grabación de unos 10-12 dB por encima del de referencia, en el caso de magnetófonos profesionales que utilizan cinta de buena calidad. Los magnetófonos

Tabla A1.2 Porcentajes típicos de THD.

Dispositivo	*THD (%)*
Buen amplificador de potencia a potencia nominal	< 0'05% (20 Hz-20 kHz)
Grabador digital 16 bits (mediante sus propios conversores)	< 0'05% (nivel de entrada -15 dB)
Altavoz	< 1% (25 W, 200 Hz)
Magnetófono analógico profesional	< 1% (nivel de ref.1 kHz)
Micrófono de condensador profesional	< 0'5% (1 kHz, 94 dB SPL)

FICHA TEMÁTICA A1.2 Distorsión armónica subjetiva

La distorsión armónica no siempre es molesta, y de hecho mucha gente la encuentra agradable y relaciona el sonido reproducido con parámetros subjetivos tales como «cálido» y «lleno». Sin distorsión el sonido podría calificarse como «frío» o «demasiado puro». Como la distorsión está armónicamente relacionada con la señal original, el efecto puede ser musical, pudiendo llegar los armónicos impares a reforzar el tono fundamental.

El sonido de la distorsión del tercer armónico es fácil de detectar con tonos puros pero no tanto en música. Podemos oírlo cuando, habiendo grabado un tono puro a alto nivel en un magnetófono, comparamos el sonido de salida grabado en la cinta con la señal de entrada. El tono ya no suena «puro», sino ligeramente «adornado». Tiene un componente en una octava y un quinto por encima el tono fundamental.

Debido a que en los magnetófonos la distorsión tiende a aumentar con el nivel de grabación, el punto en el que empieza a haber distorsión es menos evidente que en el caso de un amplificador que está saturando, por ejemplo. Muchos de estos magnetófonos analógicos tienen altos porcentajes de distorsión armónica, que pueden considerarse aceptables. Por otro lado, la saturación de un amplificador ocurre de manera repentina y da como resultado una onda casi cuadrada cuando se excede un cierto nivel; cuando se llega a este punto el grado de distorsión puede considerarse bastante importante. Podemos apreciar este efecto cuando se están agotando las baterías en un receptor de radio, o cuando un altavoz de alta fidelidad está conectado a un amplificador que trabaja sobrecargado; el sonido que se obtiene es un sonido «roto», sobre todo en los picos de la señal. Si hacemos la prueba con fuentes de onda sinusoidal, el resultado es parecido al que se muestra en la Ficha Temática 7.2.

de casete sitúan esta cifra en los 4-8 dB por encima del nivel de referencia. Los magnetófonos analógicos y los niveles de referencia se tratan con más detalle en la sección 8.5.

A1.5 Margen dinámico y relación señal/ruido

Los términos margen dinámico y relación señal/ruido (S/R) se consideran a veces como intercambiables entre sí. Esto puede ser cierto en algunos casos, pero depende de cómo se ha llegado a calcular su valor. La relación S/R se define como el número de decibelios que hay entre el «nivel de referencia» y el ruido de fondo de un determinado dispositivo (ver figura A1.3). El ruido de fondo puede ponderarse según una de las curvas estándar, que tiene en cuenta la posible «molestia» del ruido; para ello amplifica algunas partes del espectro de frecuencias y atenua otras (ver Fichas Temáticas 1.4 y A1.3). El margen dinámico puede ser lo mismo, o puede ser el número de dB entre el nivel de «pico» y el ruido de fondo; indica el máximo rango de niveles -entre máximo y mínimo- que puede manejar el sistema. Cualquiera de los dos parámetros es difícil de interpretar si no están bien especificados.

Por ejemplo, la especificación «Margen dinámico=68 dB», referida a un magnetófono, significa apenas nada, puesto que no se indican ni los puntos de referencia ni las ponderaciones. Sin embargo, la expresión «relación S/R, CCIR 468-3 (ref. 1 kHz, 320 nWb m^{-1}) = 68 dB» dice al lector prácticamente todo lo que necesita saber. Nos dice que el ruido medido ha sido ponderado por la curva estándar CCIR 468-3 y que se ha medido 68 dB por debajo del nivel del tono de 1 kHz, grabado con un nivel magnético de 320 nWb m^{-1}. Esto, al menos, permite comparar directamente con otros equipos medidos de la misma manera, incluso si el nivel de referencia era distinto. La diferencia entre estos niveles, no obstante, debería haberse teni-

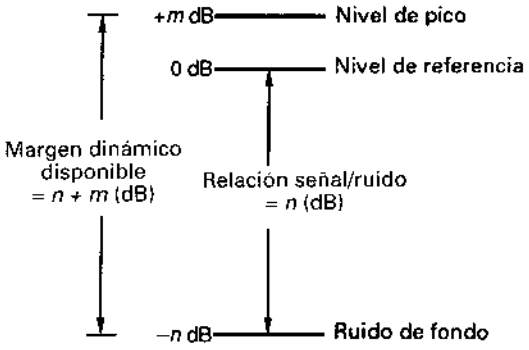


Figura A1.3 La relación señal/ruido se suele dar como el número de decibelios que hay entre el nivel de referencia y el ruido de fondo. El margen dinámico disponible puede ser mayor que la relación S/R y se define como la diferencia entre el nivel de pico y el ruido de fondo.

FICHA TEMÁTICA **A1.3**

Curvas de ponderación del ruido

Como se ha explicado en la Ficha Temática 1.4, los filtros ponderados se utilizan cuando queremos reflejar en nuestras medidas la molestia subjetiva del ruido.

Algunos ejemplos de las curvas de ponderación utilizadas se muestran en la siguiente figura, donde podemos observar que son parecidas pero no iguales. El 0 dB del eje vertical representa el punto en el que la ganancia del filtro es la «unidad», es decir, donde ni se atenúa ni se amplifica la señal. La curva «A» no se utiliza para medidas de ruido en equipos de audio, ya que fue diseñada para medidas de ruido de fondo acústico en edificios. Sin embargo, las curvas DIN y CCIR sí se utilizan en las especificaciones de los equipos de audio.

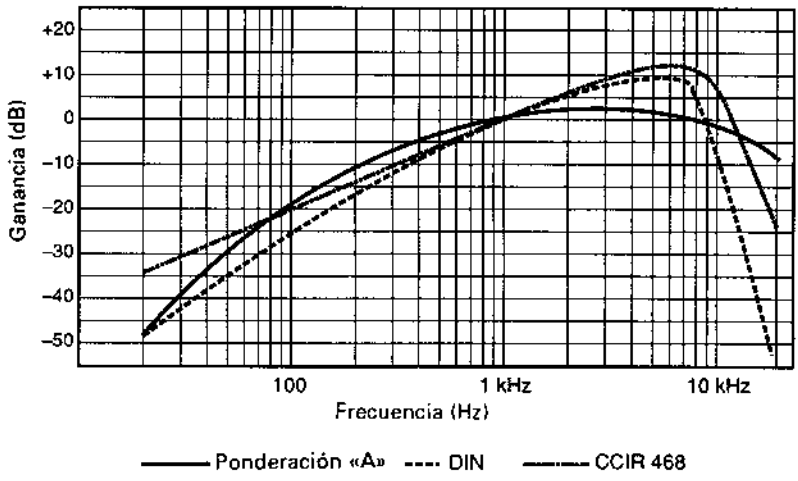


Tabla A1.3 Valores típicos de relación S/R con ponderación CCIR.

Dispositivo	*Relación S/N*
Casete doméstico (sin reducción de ruido)	50 dB (ref. 315 Hz, 200 nWb m^{-1})
Magnetófono analógico profesional (sin reducción de ruido) @ 38 cm s^{-1}	65 dB (ref. 1 kHz, 320 nWb m^{-1})
Magnetófono digital de 16 bits	94 dB (ref. nivel de pico)
Amplificador de potencia profesional	108 dB (ref. salida máxima)

do en cuenta. Es difícil, sin embargo, comparar relaciones S/R entre dispositivos que han sido medidos utilizando diferentes curvas de ponderación.

En los magnetófonos analógicos, el margen dinámico se puede dar como el número de dB entre el MOL del 3% (ver sección A1.4) y el ruido de fondo ponderado. Esto da una idea de la «ventana» de grabación disponible, puesto que el MOL suele estar muy por encima del nivel de referencia. En los grabadores digitales, el nivel de pico de grabación es en realidad el mismo que el nivel de referencia, puesto que no hay ningún punto en grabación por encima de este valor (si esto ocurriera se produciría una repentina saturación de la señal) (ver sección 10.3). Así pues, el margen dinámico y la relación S/R están referidos normalmente a este punto, aunque algunos fabricantes han optado por referirlos a un nivel 15 dB por debajo de éste.

En la tabla A1.3 se dan algunos valores de relación señal/ruido para algunos equipos de audio.

A1.6 Lloro y fluctuación «wow and flutter»

Los términos «lloro» y «fluctuación» se utilizan para describir las variaciones de velocidad de un magnetófono o tocadiscos. El lloro se aplica a variaciones lentas de velocidad y la fluctuación para las rápidas. Las cifras dependen de la calidad mecánica del dispositivo, su estado de uso y su limpieza. De nuevo se utiliza un filtro ponderado (normalmente DIN estándar) para medir las molestias que nos ocasionan los cambios de velocidad. Las especificaciones se dan como WRMS («Weighted Root-Mean Square», valor cuadrático medio ponderado). A veces se dan también valores de pico, aunque es mejor hablar siempre de valores RMS. En muchos casos también se hace referencia a la precisión de la velocidad a largo plazo; esto equivale a la deriva total que sufrirá la máquina para un carrete de cinta. Hoy en día la deriva de velocidad no es tan problemática como solía ser, y las máquinas permanecen estables para el cien por cien de la longitud del carrete. Realmente la deriva sólo es un problema si se van a sincronizar dos máquinas.

Un valor típico para un magnetófono analógico de buena calidad podría ser inferior al 0'02% WRMS; las buenas pletinas de casete pueden aproximarse también a esta cifra. Un magnetófono a casete barato, junto con una cinta mediocre, puede elevar considerablemente este valor, llegando incluso al 0'5 % o más. Un buen tocadiscos puede andar por el 0'02 %, que empeora para los modelos más baratos. Los magnetófonos digitales y los lectores de CD no están afectados por «wow and flutter» en la misma medida que los sistemas de transporte analógico, puesto que los datos de audio pasan antes de la conversión por un circuito denominado *corrector de la base de tiempos*. Este circuito elimina cualquier variación en la velocidad, resultado de alguna inestabilidad mecánica en el transporte (ver Ficha Temática 10.4).

A medida que aumentan el lloro y la fluctuación, el sonido reproducido será más desagradable, dando lugar a un «lloriqueo» en el tono de las notas y a «desigualdad» en el sonido; puede aparecer también un cierto grado de distorsión de intermodulación (ver sección A1.7).

A1.7 Distorsión de intermodulación (IM)

La distorsión de intermodulación resulta cuando dos o más señales atraviesan simultáneamente un dispositivo no lineal (ver sección A1.4). Como todos los equipos de audio tienen alguna alinealidad, todos ellos producen cantidades de distorsión de intermodulación, aunque pueden ser muy pequeñas. Al contrario de lo que ocurre con la distorsión armónica, la distorsión IM puede no tener ninguna relación armónica con la frecuencia de las señales que causan la distorsión, lo que hace que su efecto audible sea más desagradable. Si introducimos en el dispositivo alineal dos señales senoidales, nos aparecen a la salida armónicos de frecuencias suma y diferencia de los tonos originales (ver figura A1.4). Por ejemplo, un tono de f_1 = 1000 Hz y otro de f_2 = 1100 Hz pueden ocasionar productos de intermodulación de f_1-f_2 = 100 Hz y de f_1+f_2 = 2100 Hz. También puede haber productos secundarios como $2f_1$- f_2, etc. La distorsión de intermodulación también surge cuando las variaciones de velocidad del transporte de la cinta o disco modulan a las señales que ellos reproducen. Por ejemplo, un transporte de cinta que tenga variaciones de velocidad a 25 Hz, modulando una señal reproducida a 1000 Hz podría dar productos de intermodulación a 975 Hz y 1025 Hz.

La distorsión de intermodulación dice mucho sobre la calidad de un sistema, puesto que este parámetro contribuye de manera muy importante a empobrecer el sonido. Sin embargo no se suele mencionar tan a menudo como la THD (ver sección A1.4).

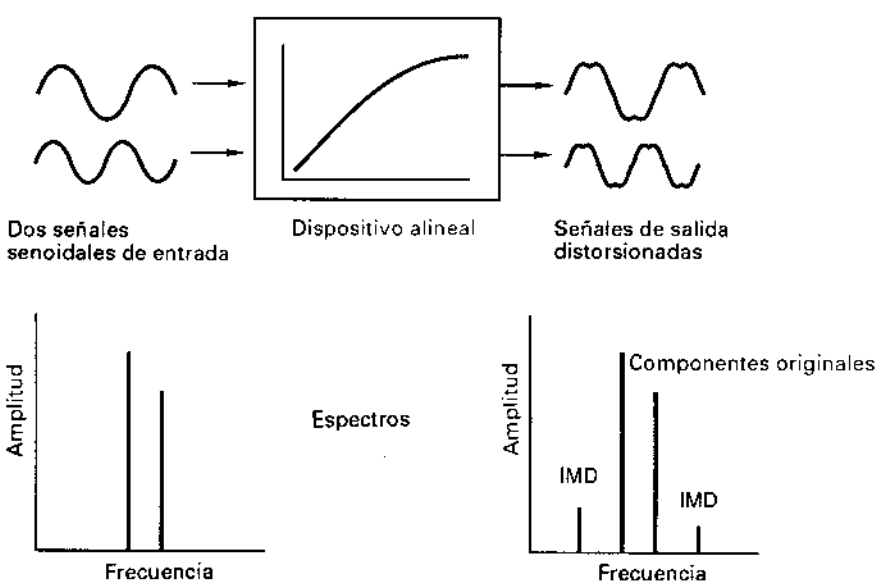


Figura A1.4 La distorsión de intermodulación entre dos señales de entrada en un dispositivo no lineal genera componentes suma y diferencia de bajo nivel en la señal de salida.

A1.8 Diafonía

La diafonía en un dispositivo describe la cantidad de señal de un canal que llega a atravesar hasta otro. Por ejemplo, en un magnetófono estéreo la diafonía puede surgir entre los canales derecho e izquierdo, y en un grabador multipista entre las pistas adyacentes. En general la diafonía es indeseable. Se puede dar de dos formas diferentes: como decibelios negativos, con respecto a la señal causante (ejemplo: -53 dB), o como los decibelios de separación entre canales (ejemplo: 53 dB).

La diafonía puede surgir de varias formas: en los propios circuitos electrónicos de un dispositivo (debida, por ejemplo, a una inducción electromagnética entre pistas en una placa de circuito impreso), magnéticamente (por inducción entre las cabezas de un magnetófono) o externamente (entre cables paralelos de una manguera multipar). Para que tanto el magnetófono multipista como el mezclador funcionen correctamente es esencial reducir al máximo la diafonía, puesto que el operador no desea oír en un canal componentes procedentes de otro. Para los grabadores y reproductores estereos, esto no es tan riguroso.

Una cifra típica para un grabador analógico multipista en modo reproducción es 40 ó 50 dB, mientras que entre pistas en grabación y entre pistas adyacentes en reproducción la separación es mucho menor (véase Ficha Temática 8.3). En un equipo digital la diafonía entre canales es excepcionalmente baja (alrededor de -90 dB), puesto que se rechaza directamente como parte del proceso de descodificación en reproducción. En los sistemas analógicos, tales como TV, FM estéreo, tocadiscos, etc., la separación es menor (alrededor de 25-30 dB) pero es, por lo general, suficiente para mantener una buena separación estéreo.

Lecturas generales recomendadas

Alkin, G. (1989) *Sonund Techniques for Video and TV*. Focal Press
Alkin, G. (1991) *Sound Recording and Reproduction*. Focal Press
Ballou, G. (1991) ed. *Handbook for Sound Engineers-The New Audio Cyclopedia*. Howard W. Sams and Co.
Borwick, J. (1987) ed. *Sound Recording Practice*. Oxford University Press
Capel, V. (1988) *Newnes Audio and Hi-Fi Engineers' Pocket Book*. Butterworth-Heinemann
Eargle, J. (1992) *Handbook of Recording Engineering*. Van Nostrand Rheinhold
Eargle, J. (1990) *Music, Sound, Technology*. Van Nostrand Rheinhold
Huber, D. and Runstein (1989) *Modern Recording Techniques*. Howard W. Sams and Co.
Nisbett, A. (1992) *The Technique of the Sound Studio*. Focal Press
Roberts, R. S. (1981) *Dictionary of Audio, Radio and Video*. Butterworths
Talbot-Smith, M. (1990) *Broadcast Sound Technology*. Butterworths
Woram, J. (1989) *Sound Recording Handbook*. Howard W. Sams and Co.

EDICIONES DEL INSTITUTO OFICIAL DE RADIO Y TELEVISION

TELEVISION Y VIOLENCIA, *Jesús María Vázquez, O. P.,* y *Félix Medín García.*

ESTUDIOS SOBRE TELEVISION (I Semana Internacional de Estudios Superiores de Televisión), julio 1966, San Marcos, León.

II CONVERSACIONES NACIONALES DE TELEVISION INFANTIL Y JUVENIL, *Jesús María Vázquez, O. P.*

INFORMACION, DERECHOS HUMANOS Y CONSTITUCION, *Eduardo Gorostiaga.*

TECNICAS DE REALIZACION Y PRODUCCION EN TELEVISION, *Gerald Millerson,* 1982, 1983, 1985; 2.ª edición, 1987, 1988, 1989; 3.ª edición, 1991, 1993.

LAS ANTENAS, *D. Bensoussan,* 1983.

LA CAMARA DE CINE Y EL EQUIPO DE ILUMINACION, *David W. Samuelson,* 1.ª edición, 1984; 2.ª edición, 1988.

SIGLARIO INTERNACIONAL DE RADIO Y TELEVISION, *Mariano Cebrián Herreros,* 1980, 1983.

LA AMBIENTACION MUSICAL, *Rafael Beltrán Moner,* 1984; 2.ª edición, 1991, 1993.

TECNICAS DEL VIDEO, *Gordon White,* 1.ª edición, 1984, 2.ª edición, 1989.

EL USO DE LOS MICROFONOS, *Alex Nisbett,* 1984, 1985; 2.ª edición, 1990, 1993.

TECNICAS DE CONSTRUCCION, ORNAMENTACION Y PINTURA DE DECORADOS, *Manuel Guardia* y *Raúl Alonso,* 1985, 1988, 1993.

ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES, *Mario Rodríguez Aragón,* 1985.

APLICACION DE LA COLOMETRIA A LA TV EN COLOR, *W. de Boeck,* 1985, 1990.

PALABRAS EQUIVOCAS O MALSONANTES EN ESPAÑA, HISPANOAMERICA Y FILIPINAS, *Manuel Criado del Val,* 1986.

LA TRIBU TELEVISIVA, Del documental al reportaje, *Luis Pancorbo,* 1986.

LA RADIO, Teoría y Práctica, *José Javier Muñoz* y *César Gil,* 1986, 1988; 2.ª edición, 1994.

MANUAL DE OPERACIONES DE TELEVISION, *Robert Oringel,* 1986, 1989.

LA TECNICA DEL ARTISTA DE MAQUILLAJE PROFESIONAL PARA CINE, TELEVISION Y TEATRO, *Vincent J. R. Kehoe,* 1987, 1988.

ORGANIZACION DE LA PUBLICIDAD COMERCIAL, *Eduardo Gorostiaga* y *Alfredo González,* 1987.

EL TELEPERIODISMO (Ante el reto de la televisión privada), *Manuel Piedrahíta del Toro,* 1987.

DIRECCION DE DOCUMENTALES, *Michael Rabiger,* 1987, 1989.

LA SUPERVISION DEL GUION, *Pat P. Miller,* 1987, 1989; 2.ª edición, 1991.

TELETEXTO, La telemática en nuestra casa, *Mario Cominetti* y *Darío Tabone,* 1988.

INTRODUCCION A LA REALIZACION TELEVISIVA, *Jaime Barroso García,* 1988.

PROGRAMACION DE LAS CADENAS DE TELEVISION EN HORARIO DE MAXIMA AUDIENCIA, *Richard A. Blum* y *Richard D. Lindheim,* 1989.

EL MONTAJE EN LA CINTA DE VIDEO, Factor básico en la post-producción, *Steven E. Browne,* 1989.

ACUSTICA DE ESTUDIOS PARA GRABACION SONORA, *Manuel Recuero López,* 1990, 1993.

SISTEMAS DE TELEVISION. CLASICOS Y AVANZADOS, *Tomás Bethencourt Machado,* 1990.

DISEÑO ESCENOGRAFICO PARA TELEVISION, *Gerald Millerson,* 1990.

SONIDO ESTEREOFONICO PARA TELEVISION, *Francis Runsey,* 1991.

TECNOLOGIA DE LA GRABACION DE VIDEO PROFESIONAL: TOMO I Y TOMO II, *Aleksander Todorovic* y *Richard Klajn,* 1991.

LA CONTINUIDAD EN CINE Y TELEVISION, *Avril Rowlands,* 1991, 1993.

TECNOLOGIA BASICA PARA TELEVISION, *Robert L. Hartwig,* 1991.

PRINCIPIOS BASICOS DEL REPORTAJE TELEVISIVO, *Ivor Yorke,* 1991, 1993.

EFECTOS ESPECIALES PARA TELEVISION, *Bernard Wilkie,* 1991.

LAS NOTICIAS EN TELEVISION, *Francesc Xavier Sitjà Poch* y *Llúcia Oliva de la Esperanza,* 1992.

NORMAS DE CATALOGACION DEL ARCHIVO SONORO DE RNE. TOMO I: PALABRA Y EFECTOS SONOROS. TOMO II: MUSICA, *Comisión de Técnicos de Archivo Sonoro y Documentación de RNE,* 1992.

EL ARTE DEL VIDEO DIGITAL, *John Watkinson,* 1992.

ETICA DE LOS INFORMATIVOS DE TELEVISION, *Marilyn J. Matelski,* 1992.

PROCESO DE LA INFORMACION DE ACTUALIDAD EN TELEVISION, *Jaime Barroso Garcìa,* 1992.

PROGRAMACION DIURNA DE TELEVISION, *Marilyn J. Matelski,* 1992.

TECNICAS DE POSTPRODUCCION DE AUDIO EN VIDEO Y FILM, *Tim. Amyes,* 1992.

DE LA CREACION AL GUION, *Doc Comparato,* 1992, 1993.

TECNICAS DE PRODUCCION DE RADIO, *Michael C. Keith,* 1992.

TECNICAS DE GRABACION SONORA, *Manuel Recuero López,* 1.ª edición, 1988; 2.ª edición, 1992, 1993.

PERIODISMO ELECTRONICO, *Robert B. Musburger.* 1992.

EL ARTE DEL AUDIO DIGITAL, *John Watkinson,* 1993.

DIRECCION DE CINE Y VIDEO. Técnica y Estética, *Michael Rabiger,* 1993.

ILUMINACION PARA TELEVISION Y CINE, *Gerald Millerson,* 1994.

PRODUCCION EN VIDEO CON UNA CAMARA, *Robert B. Musburger,* 1994.

MANUAL BASICO DE PRODUCCION EN TELEVISION, *Miguel Sainz,* 1994.

INTRODUCCION AL SONIDO Y LA GRABACION, *Francis Rumsey y Tim McCormick,* 1994.